

# Projet de stockage Cigéo – Examen du Dossier d’Options de Sûreté

RAPPORT IRSN N° 2017-00013

## ANNEXES

Réunion des Groupes permanents d’experts pour les déchets  
et pour les laboratoires et les usines des 18-19 mai 2017



## SOMMAIRE

Annexes	1
A1. Saisine ASN CODEP-DRC-2016-021886 du 2 août 2016	2
A2. Revue AIEA - Version française	28
A3. Engagements de l'Andra (Lettre DG/17-0097 du 27 avril 2017)	68
T1. Investigations géologiques et hydrogéologiques réalisées par l'Andra entre 1994 et 2009	78
T2. Inventaire par famille élémentaire de colis	80
T3. Synthèse du nombre de colis primaires et du volume associé retenus dans l'inventaire de Cigéo selon l'état d'avancement des conditionnements	86
T4. Orientations retenues pour l'établissement des marges de l'inventaire des colis	87
T5. Marges retenues par famille élémentaire pour l'inventaire des colis de déchets	88
T6. Familles de colis primaires et caractéristiques recensées par l'Andra pour le dimensionnement de Cigéo	94
T7. Résumé des inventaires de familles de colis de déchets manquants ou incomplets	97
T8. Comparaison des activités retenues dans l'inventaire de référence du DOS et du « Dossier 2005 »	99
T9. Volume de colis correspondant aux empilements graphites d'EDF et du CEA	101
T10. Typologies de combustibles considérées dans les études d'adaptabilité du stockage aux combustibles usés	102
T11. Simulations hydrogéologiques IRSN	103
T12. Contrôles des colis prévus	105
T13. Etude thermique de la réponse d'un colis de stockage à un flux thermique enveloppant	108
T14. Colmatage des filtres en cas de feu d'enrobés bitumeux	112
T15. Situations retenues par l'Andra au stade du DOS	113
T16. Scénarios hypothétiques de retrait envisagés par l'Andra	124
T17. Simulations de la migration de radionucléides réalisées par l'IRSN	125

# A1. SAISINE ASN CODEP-DRC-2016-021886 DU 2 AOUT 2016

REPUBLIQUE FRANCAISE



Direction des déchets,  
des installations de recherche et du cycle

Montrouge, le 2 AOUT 2016

N/Réf. : CODEP-DRC-2016-021886  
Affaire suivie par : Cécile CASTEL  
Tél. : 01-46-16-42-45  
Fax : 01-46-16-44-30  
Mel : [Cecile.castel@asn.fr](mailto:Cecile.castel@asn.fr)

Le directeur général adjoint de  
l'Autorité de sûreté nucléaire

à

Monsieur le Président du Groupe  
permanent d'experts pour les déchets  
Monsieur le Président du Groupe  
permanent d'experts pour les  
laboratoires et les usines

**Objet :** Projet de stockage Cigéo – Examen du dossier d'options de sûreté

**Annexes :** [A] Références  
[B] Éléments dont la déclinaison dans les documents remis par l'Andra doit être examinée lors de l'instruction du dossier d'options de sûreté  
[C] Rappel des demandes, recommandations et engagements issus de l'instruction des dossiers « 2005 – argile », « Jalon 2009 », « Dossiers remis entre 2009 et 2012 », « Jesq03 », « Ouvrages de fermeture » et « Maîtrise des risques en exploitation » dont la prise en compte doit être examinée au stade du dossier d'options de sûreté

Messieurs les Présidents,

La loi du 28 juin 2006 [1] prévoit la poursuite des études et recherches sur le stockage réversible en couche géologique profonde « 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<sup>1</sup> ».

Le débat public préalable au dépôt de la demande d'autorisation de création pour une telle installation, prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, s'est tenu du 15 mai au 15 décembre 2013. À la suite de ce débat, l'Andra a proposé une modification du calendrier de développement du projet Cigéo par délibération de son conseil d'administration du 5 mai 2014 [2] en intégrant en particulier le dépôt en 2015 d'un dossier d'options de sûreté (DOS) préalablement à la demande d'autorisation de création, ainsi qu'une phase industrielle pilote avant le fonctionnement à cadence industrielle de l'installation.

<sup>1</sup> La proposition de loi des sénateurs G. Longuet et C. Namy précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, adoptée par le Parlement le 11 juillet 2016, prévoit de remplacer « 2015 » par « 2018 ».

www.asn.fr  
15 rue Louis Lejeune – CS 70013 – 92541 Montrouge cedex  
Téléphone 01 46 16 40 00 • Fax 01 46 16 44 20

Cette phase industrielle pilote aura pour objectifs, selon l'Andra, « de conforter en conditions réelles et en complément des essais réalisés dans le laboratoire souterrain :

- la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
- les performances des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
- la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
- la capacité à sceller les alvéoles et galeries. »

Conformément à cette stratégie, mais avec un calendrier une nouvelle fois décalé, l'Andra a remis en avril et mai 2016 [3 et 4] à l'ASN un DOS pour Cigéo contenant : une proposition de plan directeur pour l'exploitation, un dossier d'options de sûreté en exploitation, un dossier d'options de sûreté après fermeture, un dossier d'options techniques de récupérabilité, une esquisse de la notice présentant les capacités techniques de l'exploitant, les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires dans l'installation et deux notes sur l'adaptabilité de Cigéo pour le stockage des combustibles nucléaires usés et les déchets prévus dans les réserves de l'inventaire. Ce dossier se positionne entre la fin des études d'avant-projet sommaire et le début de celles de l'avant-projet détaillé.

Le dépôt d'un DOS marque l'entrée du projet dans un processus encadré par la réglementation relative aux installations nucléaires de base (INB), notamment par l'article 6 du décret du 2 novembre 2007 [16].

L'ASN a, jusqu'à présent, rendu des avis au Gouvernement sur les études sur la faisabilité du concept de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde et leur avancement (dossiers « Argile 2005 » et « Jalon 2009 ») [6, 7]. Elle a plus récemment pris position sur les documents produits entre 2009 et le débat public qui s'est tenu en 2013<sup>2</sup> [8], sur le jalon intermédiaire de conception au stade de l'esquisse<sup>3</sup> présenté par l'Andra en 2012 [9], sur les ouvrages de fermeture<sup>4</sup> [10], sur les risques en exploitation<sup>5</sup> [11], sur le coût du projet [12] et sur le plan de développement des composants du projet<sup>6</sup> [13].

L'ASN a par ailleurs rendu des avis sur les études relatives à la gestion des déchets de haute, moyenne et faible activité à vie longue remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du plan 2016-2018 [14, 15]. Les orientations définies dans ces avis devront notamment être prises en compte par l'Andra pour la préparation de la demande d'autorisation de création de Cigéo.

Je vous demande d'analyser l'ensemble des documents constituant ce DOS dans le cadre d'une instruction unique. Je tiens à souligner que l'ASN a demandé à l'Andra de compléter les spécifications préliminaires d'acceptation des colis dont le contenu est à ce jour insuffisant pour permettre une instruction. Concernant ce sujet, je vous demande de me tenir informé de toute difficulté qui pourrait conduire à rendre un avis partiel sur le DOS de Cigéo.

<sup>2</sup> FIGD VA, dossier « Projet Cigéo – Modèle conceptuel du milieu géologique du site de Meuse / Haute-Marne », dossier « PNGMDR – Point d'avancement sur le développement d'un modèle opérationnel de relâchement des radionucléides par les combustibles usés des réacteurs d'EDF en conditions de stockage » et « Commentaires de l'Andra sur le rapport final de l'examen critique du programme de l'Andra sur les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain de Bure et sur la zone de transposition pour définir une ZIRA », préparé par l'IBER en juillet 2011 pour le CLIS de Bure

<sup>3</sup> Dossier « Projet Cigéo – esquisse (2012) – document de synthèse des évolutions par rapport au dossier 2009 et impact sur la sûreté »

<sup>4</sup> Dossier « projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde – ouvrages de fermeture »

<sup>5</sup> Dossier « projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde – maîtrise des risques en exploitation au niveau esquisse du projet Cigéo »

<sup>6</sup> Dossier « plan de développement des composants du projet Cigéo »

Compte-tenu des spécificités liées au développement d'une installation de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, l'ASN a fait part à l'Andra, en décembre 2014, de ses attentes sur le contenu de ce DOS [16]. Je vous demande d'examiner leur bonne prise en compte dans le DOS [3 et 4], afin notamment de s'assurer que l'Andra développe son installation en conformité avec l'approche itérative prévue dans le guide de sûreté<sup>7</sup> de l'ASN relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde [17] pour l'élaboration de la démonstration de sûreté de l'installation.

Je souhaite que vous examiniez également la manière dont l'Andra intègre les exigences applicables à toutes les INB, exigences précisées dans l'arrêté du 7 février 2012 [18] et dans la décision de l'ASN du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté [19], dans sa démarche d'établissement de la démonstration de sûreté de son installation, en veillant à la bonne intégration réciproque des sujets liés à la sûreté en exploitation avec ceux liés à la sûreté après fermeture.

Je vous demande enfin d'examiner la prise en compte par l'Andra des demandes et engagements formulés lors des précédentes instructions [6 à 13] attendus à ce stade de développement du projet, et leur état d'avancement pour ceux attendus à une échéance ultérieure.

L'ASN a par ailleurs demandé à l'AIEA d'organiser une revue internationale sur des éléments du dossier remis par l'Andra [3, 4]. Cette revue portera en particulier sur le programme de R&D en lien avec le développement du projet, la surveillance et la définition des scénarios pour la sûreté en exploitation comme à long terme. Les résultats de cette revue seront portés à la connaissance des groupes permanents d'experts, en tant qu'éclairage complémentaire dont vous pourrez tirer profit pour formuler votre avis.

Sur la base des résultats de l'instruction technique réalisée par l'IRSN et de la revue internationale par les pairs menée sous l'égide de l'AIEA, qui seront présentés aux membres des GPD et GPU, l'ASN souhaite recueillir l'avis des groupes permanents d'experts que vous présidez sur le dossier précité. Je souhaite que vous examiniez en particulier les sujets listés ci-dessous, notamment identifiés lors des précédents travaux d'analyses menés sur ce projet. Pour chacun de ces sujets, vous évalueriez leur prise en compte dans les documents remis par l'Andra, ainsi que, le cas échéant, la pertinence des hypothèses, démarches, objectifs de performance et concepts retenus, notamment en termes d'études ou justifications complémentaires qui seront nécessaires pour constituer une demande d'autorisation de création.

<sup>7</sup> Le guide de sûreté de l'ASN [17] introduit plusieurs notions essentielles sur le stockage en couche géologique profonde :

- **le système de stockage** : « Le système de stockage en formation géologique profonde est constitué des colis de déchets, de l'installation de stockage et du milieu géologique. L'installation de stockage comprend les ouvrages de stockage des colis de déchets et les ouvrages d'accès. » ;
- **Papproche itérative** à mettre en place pour la préparation de la démonstration de sûreté : « La démarche de sûreté est fondée sur un processus itératif d'évaluation de la sûreté du stockage après fermeture. Ce processus est réalisé périodiquement aux différentes phases de développement d'une installation de stockage, depuis sa conception jusqu'à sa fermeture. Ces évaluations conduisent à confirmer ou à réviser des dispositions focales à l'étape précédente, en vue d'établir la démonstration de la sûreté du stockage.  
**L'approche itérative devra, à chaque étape, porter sur les trois aspects complémentaires suivants :**
  - la vérification du caractère favorable, pour la sûreté, des performances des composants du système de stockage censés participer aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvrages, roche hôte), puis, dans leur ensemble ;
  - l'évaluation des perturbations apportées, dans le système de stockage, par les interactions entre ses différents composants et l'estimation des conséquences de ces perturbations sur la réalisation des fonctions de sûreté, compte tenu des dispositions préventives et palliatives retenues dans la conception du système pour minimiser les perturbations ou leurs effets ;
  - la modélisation du comportement futur du système de stockage pour un jeu de scénarios représentatifs de la situation de référence et des situations altérées, ainsi que l'estimation des risques radiologiques et chimiques associés à chacun de ces scénarios. ».

Votre analyse portera sur les référentiels réglementaire, normatif et technique retenus par l'Andra ainsi que sur la prise en compte du retour d'expérience national et international.

Concernant l'installation et son environnement, vous examinerez les performances retenues des composants du système de stockage pris isolément puis dans leur ensemble, en portant une attention particulière :

- à la démarche de conception et d'optimisation de l'architecture et des concepts de référence retenus et aux principes de construction et d'exploitation ;
- aux objectifs de sûreté retenus, à la démarche d'établissement des domaines de fonctionnement et aux paramètres clés associés aux composants du système de stockage jouant un rôle pour la sûreté ;
- à l'inventaire en éléments radioactifs et chimiques des familles de colis de déchets retenues par l'Andra et aux fonctions et critères de performance attribués à ces colis. Le cas des colis de déchets bitumés fera en outre l'objet d'une évaluation spécifique, au regard de leur réactivité et comportement au feu ;

Pour ce qui concerne la sûreté du stockage pendant sa phase d'exploitation, vous examinerez notamment les choix de construction, et de fermeture de l'installation proposées par l'Andra, les risques particuliers liés à l'exploitation de l'installation souterraine (notamment liés au vieillissement, à la ventilation, à la manutention et à la gestion des co-activités), les analyses des risques d'origines internes et externes et les premières évaluations complémentaires de sûreté présentées au stade du DOS.

La pertinence de l'organisation mise en place par l'exploitant pour intégrer les FOH dans la conception ainsi que la démarche d'identification des activités humaines fera également l'objet d'un examen spécifique de votre part.

Pour ce qui concerne la sûreté après fermeture, vous analyserez tout particulièrement la modélisation du système de stockage (hypothèses, outils, phénoménologie, marges, incertitudes...).

Je souhaite également que vous examiniez les scénarios associés à la démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture, de même que les principes et objectifs retenus pour l'élaboration du programme de surveillance.

Par ailleurs, vous examinerez la pertinence des options prises à ce stade à l'égard de la réversibilité au regard des exigences définies par l'ASN dans son avis du 31 mai 2016 [20] d'adaptabilité du stockage et de récupérabilité des colis de déchets dans différentes situations de fonctionnement de l'installation.

Enfin, vous examinerez les éléments de définition actuellement retenus vis-à-vis de la phase industrielle pilote, incluant la démarche d'établissement de l'inventaire strictement nécessaire au confortement de la démonstration de sûreté.

L'ensemble des éléments à considérer dans votre analyse est présentée en annexe **[B]**. Les demandes, recommandations et engagements en lien avec chacun de ces éléments sont rappelés en annexe **[C]**.

Je vous demande également de me faire part de toute autre observation que vous pourriez porter sur ces dossiers.

Je vous prie de bien vouloir convier la direction des déchets, des installations de recherche et du cycle et la division de Châlons-en-Champagne aux travaux menés par les groupes permanents d'experts que vous présidez.

L'ASN souhaite recueillir en synthèse un avis commun des groupes permanents à l'issue de la réunion des groupes permanents d'expert pour les déchets ainsi que pour les laboratoires et les usines, à ce jour planifiée pour les 18 et 19 mai 2017.

Je vous prie d'agréer, Messieurs les Présidents, l'expression de ma considération distinguée.

**Le directeur général adjoint**



**Jean-Luc LACHAUME**

## ANNEXE A À LA LETTRE CODEP-DRC-2016-021886

### RÉFÉRENCES

- Réf. :**
- [1] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs
  - [2] Délibération du conseil d'administration de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet Cigéo
  - [3] Lettre Andra DG/16-0105 du 6 avril 2016
  - [4] Lettre Andra DG/16-0141 du 13 mai 2016
  - [5] Décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives
  - [6] Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV
  - [7] Avis n° 2011-AV-129 du 26 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le dossier relatif au stockage réversible profond des déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008
  - [8] Avis n° 2013-AV-179 du 16 mai 2013 de l'ASN sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
  - [9] Lettre ASN CODEP-DRC-2013-033414 du 18 novembre 2013
  - [10] Lettre ASN CODEP-DRC-2014-039040 du 9 octobre 2014
  - [11] Lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015
  - [12] Avis n° 2015-AV-0227 de l'ASN du 10 février 2015 relatif à l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
  - [13] Lettre ASN CODEP-DRC-2016-005220 du 20 juin 2016
  - [14] Avis n° 2016-AV-0259 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2016-2018
  - [15] Avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018
  - [16] Lettre ASN CODEP-DRC-2014-039834 du 19 décembre 2014
  - [17] Guide de sûreté de l'ASN relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde – février 2008
  - [18] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base
  - [19] Décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base
  - [20] Avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
  - [21] Lettre ASN CODEP-DRC-2011-002092 du 1<sup>er</sup> juin 2011
  - [22] Lettre Andra DG/14-0162 du 3 juin 2014
  - [23] Lettre Andra DG/DIR/13-0020 du 22 janvier 2013
  - [24] Lettre Andra DG/DIR/10-0324 du 16 novembre 2010
  - [25] Lettre Andra DG/14-0314 du 14 novembre 2014

## ANNEXE B À LA LETTRE CODEP-DRC-2016-021886

ÉLÉMENTS DONT LA DÉCLINAISON DANS LES DOCUMENTS REMIS PAR L'ANDRA DOIT ÊTRE EXAMINÉE LORS DE L'INSTRUCTION DU DOSSIER D'OPTIONS DE SÛRETÉ

### 1. Référentiels

- Référentiels (réglementaire, normatif et technique) et REX (national et international) retenus (au regard notamment du chapitre II du titre III de la décision relative au rapport de sûreté [19]).

### 2. Description de l'installation et de son environnement

- Performances des composants du système de stockage (Site ; colis ; composants ouvrages dont scellements ; architecture, dont implantation, répartition de l'inventaire et gestion du pendage) pris isolément puis dans leur ensemble ;
- En particulier, concernant les colis de déchets radioactifs :
  - Inventaire, notamment :
    - Facteurs de marge appliqués ;
    - Catégorisation des familles selon le niveau d'avancement de la production des déchets et des colis ;
    - Modèles de relâchement retenus.
  - Conditionnement, notamment :
    - Fonctions attribuées et critères de performances associés aux colis primaires et conteneurs de stockage ;
    - Propositions de familles éligibles au stockage direct.

Une attention particulière sera portée aux colis de bitume, notamment concernant leur résistance au feu et la possibilité d'un emballage de réaction exothermique.

- Objectifs de sûreté retenus, démarche d'établissement des domaines de fonctionnement et des paramètres clés (sur la base des premiers éléments fournis) ;
- Démarche de conception et d'optimisation de l'installation, et principes de construction et d'exploitation notamment au regard des exigences attendues pour l'élaboration de la démonstration de sûreté (Titre III de l'arrêté du 7 février 2012 [18] et articles 3.1.6 et 4.1.4 de la décision relative au rapport de sûreté [19]).

### 3. Sûreté en exploitation

- Scénarios (discrimination des scénarios, pertinence, agressions considérées, niveaux d'aléas), dont scénarios de récupération de colis, évaluations complémentaires de sûreté (ECS), cumuls ;
- Objectif de protection radiologique (travailleurs, groupes de population, valeurs cibles) et démarche d'optimisation ;
- Construction : méthodes de creusement, soutènements, premiers éléments concernant le domaine de fonctionnement et la reconnaissance à l'avancement ;
- Sujets techniques particuliers :
  - Prise en compte des agressions internes et externes et de leur cumul possible (articles 3.5 et 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 [18]) ;
  - Essais préalables à la mise en service et puis à son fonctionnement à cadence industrielle ;
  - Vieillesse et maintenance ;
  - Confinement – Ventilation ;
  - Criticité ;
  - Manutention, dont funiculaire (notamment référentiel) ;
  - Co-activités ...

- Fermeture :
  - Prise en compte des résultats des instructions des dossiers « Ouvrages de fermeture » et « Maîtrise des risques en exploitation » ;
  - Proposition de fermeture « au plus tard » (dont lien avec la co-activité).
- Post-incident/accident (en application du principe de défense en profondeur précisé à l'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 [18]), notamment en lien avec la récupérabilité ;
- Facteurs organisationnels et humains (FOH) :
  - Sous-traitance (dont classification des activités) ;
  - Prise en compte des besoins des intervenants et de l'organisation dans la conception ;
  - Prise en compte des FOH dans la sûreté pendant l'exploitation (interface homme-machine, impact de l'homme sur la maîtrise des risques...).

#### 4. Sûreté après fermeture

- Scénarios (discrimination des scénarios, pertinence, niveaux d'aléa retenus) ;
- Objectif de protection radiologique (groupe de référence, valeurs cibles) et démarche d'optimisation ;
- Analyse des risques d'origine interne et externe ;
- Impact radiologique et chimique (pertinence des critères retenus).

Une attention particulière sera portée à la modélisation du système de stockage (hypothèses, outils, phénoménologie, marges, incertitudes...).

Par ailleurs, le sujet suivant sera examiné :

- Réponse à la demande de l'ASN et à l'engagement de l'Andra de combiner plus systématiquement les approches déterministe et probabiliste.

#### 5. Surveillance

- Principes et objectifs retenus pour la définition du programme de surveillance.

#### 6. Réversibilité

- Adaptabilité :
  - Dispositions prévues par l'Andra, au stade du DOS, pour l'adaptabilité de l'installation, notamment au regard de l'exigence d'adaptabilité définie par l'ASN dans son avis du 31 mai 2016 [20].
- Récupérabilité (en lien avec la sûreté en exploitation) :
  - Scénarios de retrait ;
  - Maîtrise des conditions de sûreté et de radioprotection, y compris en cas de dégradation des ouvrages et des colis de déchets, et notamment :
    - Paramètres à surveiller et moyens à mettre en œuvre ;
    - Démontage des équipements ;
    - Opérations liées à la réouverture.

#### 7. Phase industrielle pilote

- Définition des éléments nécessaires au confortement de la démonstration de sûreté ;
- Démarche d'établissement de l'inventaire strictement nécessaire à cette démonstration.

## ANNEXE C À LA LETTRE CODEP-DRC-2016-021886

### RAPPEL DES DEMANDES, RECOMMANDATIONS ET ENGAGEMENTS, ISSUES DE L'INSTRUCTION DES DOSSIERS « 2005 – ARGILE », « JALON 2009 », « DOSSIERS REMIS ENTRE 2009 ET 2012 », « JESQ03 », « OUVRAGES DE FERMETURE » ET « MAÎTRISE DES RISQUES EN EXPLOITATION » DONT LE RESPECT DOIT ÊTRE EXAMINÉ AU STADE DU DOSSIER D'OPTIONS DE SÛRETÉ

Les demandes, recommandations et engagements sont classés dans l'ordre des éléments dont l'examen est demandé en annexe [B]. Les mêmes demandes, recommandations et engagements peuvent figurer dans plusieurs sections différentes et devront être examinés sous différents angles.

Les demandes, recommandations et engagements dont le respect est attendu au stade actuel de développement du projet sont précédés de [1].

Les demandes, recommandations et engagements dont l'état d'avancement doit être mesuré au stade actuel de développement du projet, notamment en raison des retours sur conception qu'ils pourraient entraîner dans la suite du développement du projet, sont précédés de [2].

Les demandes, recommandations et engagements dont l'état d'avancement doit être examiné au stade actuel de développement du projet sont précédés de [3].

#### 1. Référentiels

1.1. Référentiels (réglementaire, normatif et technique) et REX (national et international) retenus. (au regard notamment du chapitre II du titre III de la décision relative au rapport de sûreté [19])

- [1][Cigéo-2014-D-24][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] le référentiel réglementaire, normatif et technique utilisé ainsi que le REX national et international retenu.»
- [2][Cigéo-2010-E-17.2][24] « Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain - 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. Description de l'installation et de son environnement

2.1. Performances des composants du système de stockage (Site ; colis ; composants ouvrages dont scellements ; architecture, dont implantation, répartition de l'inventaire et gestion du pendage) pris isolément puis dans leur ensemble

- [1][Cigéo-2010-E-3.3][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'évolution des matériaux - 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. »
- [1][Cigéo-2013-D-14][9] « l'exigence sur les performances du bouchon HA, destiné à sceller les alvéoles renfermant les colis de stockage HA : la révision à la baisse de l'exigence sur les performances du bouchon HA devra être justifiée.»
- [1][Cigéo-2014-D-5][10] « Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Scellement surface-fond : un essai in situ en vraie grandeur en complément des essais déjà réalisés sera nécessaire pour montrer la possibilité d'atteindre les performances visées.»
- [1][Cigéo-2014-D-14][10] « [Concernant la faisabilité industrielle de ces concepts d'ouvrages de fermeture :] Scellement surface-fond : un essai in situ en vraie grandeur en complément des essais déjà réalisés sera nécessaire pour vérifier la faisabilité industrielle de ces scellements.»

- [1][Cigéo-2014-D-20][16] « [L]e dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier les options techniques retenues pour la conception de l'installation et sa construction, au stade de l'avant-projet sommaire, en vue d'estimer leur influence éventuelle sur les principales options concernant son exploitation (incluant sa fermeture), sa réversibilité et sa surveillance ; les différentes incertitudes associées à ces concepts à ce stade du projet seront présentées et prises en compte dans les évaluations de sûreté présentées.»
- [2][Cigéo-2010-E-15.4][24] « Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - 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. »
- [2][Cigéo-2011-R-4][21] « présenter les éléments nécessaires à la démonstration de la faisabilité industrielle d'une solution de scellement des galeries et des liaisons jour-fond. Les performances de ces scellements devront être déterminées de manière prudente, en tenant compte de la présence de l'EDZ (excavation damaged zone), des effets éventuels des gaz et des incertitudes sur le degré de saturation du scellement. L'intérêt de procéder, ou non, à la resaturation artificielle des scellements lors de leur mise en place devra être évalué.»
- [2][Cigéo-2014-E-1.1][22] « [Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra définira comment la zone d'argilites endommagées à la paroi d'un ouvrage à sceller pourra être déclarée « acceptable » au regard des options de scellement retenues. Cette définition prendra en compte des marges. Le cas échéant, l'Andra prévoira les dispositions en cas de non-respect des exigences spécifiées.»
- [2][Cigéo-2014-E-1.2][22] « [Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra expliquera l'apparition des fracturations éparées dans la niche (-445 m) et montrera que l'évolution de ces fracturations dans l'unité silto-carbonatée, le cas échéant, est un phénomène suffisamment maîtrisé pour ne pas remettre en cause la possibilité d'y sceller efficacement les liaisons surface-fond du stockage. »
- [2][Cigéo-2014-E-2.1][22] « [Pour ce qui concerne l'impact des perturbations :] L'Andra identifiera les situations hydrauliques possibles, notamment liées à des ruptures des ouvrages ou au fluage de la roche, et évaluera leurs conséquences potentielles sur les performances des scellements et celle du stockage à grande échelle.»
- [2][Cigéo-2014-E-2.2][22] « [Pour ce qui concerne l'impact des perturbations :] L'Andra justifiera, sur la base d'un bilan des connaissances, que son programme d'études relatif aux bétons bas pH, basé sur des essais et des modélisations, montre que l'évolution physico-chimique des composants en bétons bas pH dans le Callovo-Oxfordien et dans l'Oxfordien calcaire leur permet d'atteindre les performances mécaniques qui leurs sont attribuées en phases d'exploitation et de post-fermeture.»
- [2][Cigéo-2014-E-3.1][22] « [Pour ce qui concerne la performance hydraulique des scellements :] L'Andra :
  - réalisera, pour les différents scellements (alvéoles MAVL, galeries et liaisons surface-fond), des simulations numériques tenant compte de l'ensemble de leurs composants, du contexte poromécanique, de la sollicitation due au gaz et de l'incertitude sur le comportement rhéologique du béton sur les durées considérées ;
  - justifiera sur la base de ces modélisations la longueur des scellements (noyau et massifs d'appui).»
- [2][Cigéo-2014-D-1][10] « Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Pour les scellements de fond, je note que l'objectif de performance retenu par l'Andra est dégradé d'un ordre de grandeur par rapport au dossier « Argile – 2005 ». Je considère que cet objectif de performance n'est pas suffisamment ambitieux à ce stade du projet. En effet, en cas de défaillance des scellements des liaisons surface-fond, ce niveau de performance pourrait ne pas être suffisant pour éviter que les liaisons surface-fond ne deviennent, au moins temporairement, la voie de transfert prédominante de la radioactivité, pouvant conduire à des flux locaux de radionucléides plus concentrés. Ce point nécessitera d'être traité avec une attention particulière dans le cadre de la démonstration de sûreté du stockage.»
- [2][Cigéo-2014-D-2][10] « Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Par ailleurs, je note que l'architecture générale du stockage (longueur des galeries, positionnement des liaisons surface-fond...) pourrait apporter des marges supplémentaires en cas de défaillance d'une ou plusieurs barrières ouvragées. Ainsi, je considère que votre démonstration de sûreté devra justifier l'architecture retenue en présentant les avantages et inconvénients du point de vue de la sûreté et de la radioprotection de différentes options pour les différentes phases du stockage.»
- [2][Cigéo-2014-D-6][10] « Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme : Scellement des descenderies : le scellement envisagé en descenderie devrait concerner une épaisseur de roche dans le toit de la formation bête supérieure à celle retenue dans le dossier examiné.»

- [2][Cigéo-2014-D-7][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
Comportement à moyen et long terme des scellements : je note à ce titre que votre analyse est encore en cours. Cette analyse devra en particulier être complétée par des simulations numériques d'ensemble tenant compte des couplages hydromécaniques ainsi que des incertitudes sur le comportement différé de la roche et sur la rhéologie du béton aux échelles de temps considérées. Ces simulations devront inclure la sollicitation des scellements par les gaz et prendre en considération les phases hydrauliques transitoires et les situations dégradées de fonctionnement de l'installation.»
- [2][Cigéo-2014-D-8][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
Evolution physicochimique du béton à bas pH : la démonstration que l'évolution physicochimique du béton à bas pH dans le Callovo-Oxfordien et dans l'Oxfordien calcaire ne risque pas de nuire à l'atteinte des performances mécaniques qui lui sont attribuées devra être apportée.»
- [2][Cigéo-2014-D-9][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
Bouchons d'alvéoles HA : des évaluations complémentaires, prenant en considération les phases hydrauliques transitoires et des situations dégradées de fonctionnement de l'installation, seront nécessaires en vue de conforter le bien-fondé de l'approche retenue.»
- [2][Cigéo-2011-R-7][21] « 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.»
- [2][Cigéo-2011-R-11][21] « Sécurité après la fermeture du stockage :  
Explicitier, en égard aux situations représentatives des évolutions possibles du stockage et à leur vraisemblance, les jeux d'hypothèses retenues pour dimensionner les barrières de confinement et pour définir les scénarios permettant de vérifier l'acceptabilité du stockage.»
- [2][Cigéo-2011-R-12][21] « Sécurité après la fermeture du stockage :  
Améliorer la compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement, et des couplages entre les différents phénomènes.»
- [2][Cigéo-2010-E-15.5][24] « Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - 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.»
- [2][Cigéo-2010-E-16][24] « 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.»
- [2][Cigéo-2013-D-13][9] « la réduction des distances entre les alvéoles de stockage MA-VL et la base des liaisons surface-fond : la longueur minimale des galeries entre les alvéoles de stockage et les liaisons surface-fond devra être justifiée au regard de l'objectif de minimisation des transferts de radionucléides à travers ces liaisons.»
- [2][Cigéo-2013-D-15][9] « le développement par étapes de l'installation, sur une durée a priori séculaire, implique de considérer :  
Le volume à l'intérieur duquel pourra s'étendre le stockage est limité et il convient de le gérer au mieux. Par ailleurs, le creusement et le fonctionnement des différentes tranches sont prévus pour être réalisés au fur à et mesure. La construction et le fonctionnement de nouvelles tranches peuvent alors avoir un impact sur la sûreté des tranches précédemment en fonctionnement.  
Une conception globale de l'installation, en considérant son extension maximale, doit donc être définie et présentée avec un niveau de démonstration de sûreté suffisant dès le dépôt de la demande d'autorisation de création de l'installation.»
- [2][Cigéo-2011-R-5][21] « Données pour la modélisation des transferts :  
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 «Marnes-Poissons») et établir l'origine de la salinité des eaux des formations encadrant la formation bête.»
- [2][Cigéo-2011-R-6][21] « Données pour la modélisation des transferts :

*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 bôte.»*

- [2][Cigéo-2011-R-17][21] « *Sûreté après la fermeture du stockage : Améliorer la connaissance des écoulements souterrains et leur évolution à long terme dans les formations encaissantes au regard des calculs d'impact.»*
  - [2][Cigéo-2013-E-3.1][23] « *L'Andra remettra avant la fin du premier semestre 2013 un rapport présentant et justifiant la méthode retenue pour la conversion des données sismiques « temps double » en profondeur, ainsi que l'ensemble des cartes en isobypses des interfaces lithologiques interprétées qui en découlent. »*
  - [2][Cigéo-2013-D-11][9] « *les intervalles de temps laissés entre la construction d'alvéoles HA et leur exploitation : l'influence sur la sûreté en exploitation et à long terme du stockage des durées laissées entre la construction d'alvéoles HA et leur exploitation devra être décrite dans le dossier présenté en support de la demande d'autorisation de création. »*
  - [3][Cigéo-2013-E-3.3][23] « *L'Andra présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, un modèle conceptuel du milieu géologique du site de Meuse/Haute-Marne, prenant en compte les résultats de traitement et d'analyse de l'acquisition sismique 3D en 2010 sur la ZIRA obtenus entre mars 2012 et la constitution du dossier de la DAC, notamment sur les points suivants :*
    - *analyse des propriétés globales de transport des corps récifaux du Bajocien et rôle dans le modèle hydrogéologique,*
    - *interprétation des anomalies sismiques identifiées :*
      - *dans l'Oxfordien calcaire à l'aplomb du cours de l'Orge,*
      - *sous les corps récifaux du Bajocien inférieur,*
      - *dans le Trias au Nord de la ZIRA,*
    - *identification et quantification des incertitudes résiduelles (existence éventuelle de failles mineures, potentialités de propagation vers le Callovo-Oxfordien).*
- L'Andra tiendra compte de ces incertitudes pour définir les reconnaissances qui seront réalisées lors du creusement, et pour la stratégie d'implantation de l'installation souterraine de Cigéo. Conformément à sa démarche générale de sûreté, la démonstration de sûreté présentée par l'Andra en appui à la demande d'autorisation de création prendra en compte les incertitudes résiduelles identifiées. »*
- [3][Cigéo-2013-D-7][9] « *l'évolution des données d'entrée : les hypothèses et données qui sous-tendent le nouveau modèle hydrogéologique devront être explicitées, ainsi que celles ayant conduit à retenir les valeurs présentées pour l'extension de la zone endommagée. »*
  - [3][Cigéo-2010-E-15.3][24] « *Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - 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.»*
  - [3][Cigéo-2014-E-1.3][22] « *[Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra poursuivra ses investigations pour développer la variante du scellement de galeries avec coupures hydrauliques jusqu'au stade du prototype dans le cadre de la phase industrielle pilote.»*
  - [3][Cigéo-2014-E-2.3][22] « *[Pour ce qui concerne l'impact des perturbations :] L'Andra vérifiera que l'activité des bactéries présentes naturellement ou introduites au moment de la construction du stockage ne remet pas en cause les performances des scellements.»*
  - [3][Cigéo-2014-E-3.2][22] « *[Pour ce qui concerne la performance hydraulique des scellements :] L'Andra présentera un concept de scellement pour les descendries qui tire davantage profit de la hauteur des unités carbonatées de la formation bôte.»*
  - [3][Cigéo-2014-E-4][22] « *[Pour ce qui concerne la conception du bouchon de radioprotection :] L'Andra justifiera la pertinence de la conception du bouchon de radioprotection au regard de la sûreté en phase d'exploitation (mise en place et dépôt en cas de retrait des colis de déchets HA) et au regard de son impact potentiel sur la sûreté en phase post-fermeture (interaction mécanique avec les colis de déchets HA).»*
  - [3][Cigéo-2014-D-10][10] « *[Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]*

*Bouchons de radioprotection des alvéoles HA : la pertinence de leur conception devra être justifiée au regard de la sûreté lors des opérations d'exploitation (mise en place et dépose de bouchons en cas de retrait des colis de déchets HA) et en phase de post-fermeture (interactions mécaniques avec les colis HA).»*

- [3][Cigéo-2014-D-11][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
*Longueur des scellements : le rôle du massif d'appui est prépondérant pour maintenir une condition de « volume constant » pendant la saturation du noyau, ce qui lui permet de développer sa pression de gonflement. La longueur retenue pour les scellements devra être justifiée en tenant compte de cet aspect.*
- [3][Cigéo-2014-D-12][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
*Bactéries présentes naturellement ou introduites au moment de la construction du stockage sur les performances des scellements : vous démontrerez que leur activité ne remettra pas en cause la performance des scellements.*
- [3][Cigéo-2014-D-13][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
*Composants métalliques du stockage : le dimensionnement des composants métalliques du stockage (cbemitage des alvéoles et (sur) conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension devra être précisé (rappel d'une demande issue de l'instruction du « dossier 2005 »*
- [3][Cigéo-2011-R-13][21] « Sûreté après la fermeture du stockage :  
*Préciser le dimensionnement des composants métalliques du stockage (cbemitage des alvéoles et (sur)conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension.*
- [3][Cigéo-2010-E-15.2][24] « Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - 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.»
- [3][Cigéo-2015-D-6][11] « [Concernant les risques liés à l'incendie : il conviendra que le dossier support à la demande d'autorisation de création :] apporte une attention particulière à la présentation des outils de simulation numérique utilisés pour l'analyse des risques d'incendie et à la démonstration de la validité de leur domaine d'utilisation. Conformément aux dispositions de l'article 3.8 de l'arrêté du 7 février 2012, des éléments probants permettant de justifier la compatibilité des outils de simulation numérique utilisés avec les spécificités de Cigéo devront être fournis. Ils devront notamment intégrer la prise en compte du retour d'expérience et des jugements d'experts.»

## 2.2. En particulier, concernant les colis de déchets radioactifs :

### 2.2.1. Inventaire

- [1][Cigéo-2013-E-1.2][23] « Le PIGD sera remis à jour en 2013 en vue des études d'avant-projet industriel de Cigéo. Cette nouvelle version précisera les hypothèses retenues pour l'évaluation des quantités de déchets graphites comptabilisées en réserve.»
- [1][Cigéo-2013-E-1.3][23] « Le PIGD sera remis à jour en 2013 en vue des études d'avant-projet industriel de Cigéo. L'inventaire du PIGD sera mis en cohérence avec la stratégie de gestion des combustibles usés retenue par le CEA. Ainsi, les déchets ultimes HA et MAVL résultant du traitement/recyclage des combustibles usés du CEA Civil et de la propulsion navale seront intégrés dans l'inventaire avec les incertitudes associées.»
- [1][Cigéo-2013-D-1][8] « [L']inventaire devrait prendre en compte l'ensemble des stratégies industrielles aujourd'hui envisagées par les producteurs, en particulier pour ce qui concerne la durée de fonctionnement des réacteurs et leur puissance ainsi que la gestion des combustibles usés du CEA en intégrant les déchets résultant du traitement de ces combustibles et, s'il y a lieu, les combustibles qui ne seraient pas retraités.»
- [1][Cigéo-2013-E-1.1][23] « Le PIGD sera remis à jour en 2013 en vue des études d'avant-projet industriel de Cigéo. Cette nouvelle version justifiera les marges prises afin d'améliorer la lisibilité de l'inventaire du PIGD et de mieux apprécier leur conservatisme.»
- [1][Cigéo-2013-E-2.1][23] « L'Andra présentera, dans l'étude faisant l'objet de l'engagement E1.5, une évaluation d'impact du stockage prenant en compte la modification de la valeur d'TRF du <sup>26</sup>Cl »
- [2][Cigéo-2010-E-1][24] « 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.»

- [2][Cigéo-2011-R-20][21] « En tout état de cause, le modèle d'inventaire de dimensionnement définitif sera présenté dans le dossier de demande d'autorisation de création du stockage (DAC) en précisant les scénarii envisageables.»
- [2][Cigéo-2013-E-1.4][23] « La démonstration de sûreté du stockage présentée dans le dossier en support à la demande d'autorisation de création de Cigéo prendra en compte l'ensemble des déchets du PIGD y compris les réserves.»

### 2.2.2. Conditionnement, notamment :

- [1][Cigéo-2013-D-2][8] « Dans le cadre des études de conception de l'installation de stockage, des marges adaptées devraient couvrir l'incertitude sur les volumes à stocker des déchets pour lesquels des conditionnements restent à définir ou sont en cours d'instruction. A cet égard, seuls les conditionnements répondant aux objectifs du guide de l'ASN du 12 février 2008 susvisé sont acceptables. »
- [1][Cigéo-2014-D-26][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] l'inventaire des déchets à stocker, les modalités de conditionnement associées et les hypothèses prises pour leur évolution à long terme.»
- [2][Cigéo-2014-E-8.4][25] « L'Andra présentera également dans le dossier accompagnant la DAC les modes de stockage retenus ou envisagés pour chaque famille de colis de déchets du PIGD.»
  - Fonctions attribuées et critères de performances associés aux colis primaires et conteneurs de stockage ;
- [1][Cigéo-2013-D-17][9] « Concernant les colis de déchets, [...] conformément au principe de confinement « au plus près » de la radioactivité, à celui de la défense en profondeur, ainsi qu'aux principes énoncés dans le guide de sûreté du 12 février 2008 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, les performances attendues pour la première barrière de confinement statique (constituée du colis primaire et éventuellement d'un conteneur de stockage) doivent être obtenues en priorité par le colis primaire.»
- [1][Cigéo-2014-E-8.1][25] « L'Andra présentera : dans le projet de spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets joint au DOS, les exigences de confinement assignées aux colis de déchets primaires MA-VL suivant qu'ils sont acceptés pour un stockage direct ou pour un stockage en conteneur de stockage.»
- [1][Cigéo-2014-E-8.2][25] « L'Andra présentera [...] : dans le DOS, les fonctions et les performances des conteneurs de stockage.»
- [1][Cigéo-2015-D-1][11] « Par ailleurs le dossier « maîtrise des risques en exploitation au niveau esquisse » présente une option, qui n'est actuellement pas retenue en référence, mais comme une variante à l'étude, qui consiste à prévoir un stockage direct de certains colis primaires, sans conteneur de stockage additionnel. La mise en œuvre de cette variante serait considérée comme une évolution notable par rapport au « dossier 2009 » et nécessiterait une attention particulière. Une version préliminaire des spécifications d'acceptation pour le stockage sera remise en 2015 par l'Andra dans le cadre des options de sûreté de Cigéo. L'ASN considère que ces spécifications devront fixer des exigences équivalentes de confinement et de récupérabilité des colis pour tous les colis qui seront stockés, que les colis primaires soient inclus ou non dans un conteneur de stockage.»
- [2][Cigéo-2014-E-8.3][25] « L'Andra présentera : dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositions concrètes permettant de satisfaire ces exigences [de confinement assignées aux colis de déchets primaires MA-VL], quelle que soit la solution de stockage envisagée.»

Une attention particulière sera portée aux colis de bitume, notamment concernant leur résistance au feu et la possibilité d'un emballage de réaction exothermique (cf. [1][Cigéo-2015-D-4][11])

- 2.3. Objectifs de sûreté retenus, démarche d'établissement des domaines de fonctionnement et des paramètres clés (sur la base des premiers éléments fournis)

- [1][Cigéo-2014-D-25][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] les objectifs de sûreté retenus en exploitation comme à long terme en regard notamment du guide de sûreté de l'ASN [9] et des travaux des instances internationales sur le sujet du stockage géologique, les écarts éventuels entre les objectifs de sûreté retenus et ceux figurant en particulier dans le guide de sûreté de l'ASN [9] devront être justifiés.»
- [1][Cigéo-2014-D-27][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] une première définition des domaines de fonctionnement envisagés ainsi que des paramètres clés de l'installation gouvernant la sûreté à considérer pour la construction, le fonctionnement, la mise à l'arrêt définitif, le démantèlement ou la fermeture, l'entretien et la surveillance, selon les sous-ensembles concernés de l'installation.»
- [1][Cigéo-2014-D-28][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] la justification du caractère favorable, pour la sûreté, des performances des composants du système de stockage censés participer aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvrages - y compris les scellements -, roche hôte), puis, dans leur ensemble, architecture comprise.»
- [1][Cigéo-2014-D-20][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier] les options techniques retenues pour la conception de l'installation et sa construction, au stade de l'avant-projet sommaire, en vue d'estimer leur influence éventuelle sur les principales options concernant son exploitation (incluant sa fermeture), sa réversibilité et sa surveillance ; les différentes incertitudes associées à ces concepts à ce stade du projet seront présentées et prises en compte dans les évaluations de sûreté présentées.»
- [2][Cigéo-2015-D-3][11] « [Concernant la démarche et les exigences de sûreté présentées :] Fonctions de sûreté et paramètres clés : le dossier accompagnant la demande d'autorisation de création devra présenter : les paramètres clés qui encadrent la sûreté en exploitation de Cigéo, qui seront surveillés tant au niveau de l'acceptation des colis de déchets destinés à être stockés dans l'installation que pendant l'exploitation de Cigéo, ainsi que les mesures correctives prévues en cas de dérive constatée »

2.4. Démarche de conception et d'optimisation de l'installation, et principes de construction et d'exploitation notamment au regard des exigences attendues pour l'élaboration de la démonstration de sûreté (Titre III de l'arrêté du 7 février 2012 [18] et articles 3.1.6 et 4.1.4 de la décision relative au rapport de sûreté [19]).

- [1][Cigéo-2014-D-5][10] « Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Scellements surface-fond : un essai in situ en vraie grandeur en complément des essais déjà réalisés sera nécessaire pour montrer la possibilité d'atteindre les performances visées.»
- [2][Cigéo-2013-D-13][9] « la réduction des distances entre les alvéoles de stockage MA-VL et la base des liaisons surface-fond : la longueur minimale des galeries entre les alvéoles de stockage et les liaisons surface-fond devra être justifiée au regard de l'objectif de minimisation des transferts de radionucléides à travers ces liaisons.»
- [2][Cigéo-2014-D-2][10] « Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Par ailleurs, je note que l'architecture générale du stockage (longueur des galeries, positionnement des liaisons surface-fond...) pourrait apporter des marges supplémentaires en cas de défaillance d'une ou plusieurs barrières ouvrages. Ainsi, je considère que votre démonstration de sûreté devra justifier l'architecture retenue en présentant les avantages et inconvénients du point de vue de la sûreté et de la radioprotection de différentes options pour les différentes phases du stockage.»

### 3. Sûreté en exploitation :

3.1. Scénarios (discrimination des scénarios, pertinence, agressions considérées, niveaux d'aléas), dont scénarios de récupération de colis, évaluations complémentaires de sûreté (ECS), cumuls

- [1][Cigéo-2010-E-2.2][24] « Pour ce qui concerne la démarche de sûreté pour la phase d'exploitation du stockage - 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][Cigéo-2013-D-8][9] « la démarche de sélection des scénarios de sûreté : la discrimination des scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation devra être justifiée dans le dossier support à la demande d'autorisation de création. Cette justification devra intégrer la démarche d'évaluation complémentaire de sûreté. »

- [1][Cigéo-2014-E-5][25] « L'Andra présentera, dans le DOS, une classification des scénarios en cohérence avec les niveaux de défense en profondeur, et avec les prescriptions de l'arrêté INB (proportionnalité aux risques). L'Andra distinguera notamment les scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation (3 premiers niveaux de la défense en profondeur), les scénarios de dimensionnement du PUI (4ème niveau de la défense en profondeur) et les scénarios exclus.»
- [1][Cigéo-2014-D-23][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier] une première estimation de l'impact radiologique de l'installation sur l'environnement et sur l'homme, pour les principaux scénarios considérés, au stade des études d'avant-projet sommaire, comme enveloppe des situations de fonctionnement envisageables.»
- [1][Cigéo-2014-D-31][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] les situations retenues in fine pour le dimensionnement de l'installation.»
- [1][Cigéo-2015-D-4][11] « [Concernant la démarche et les exigences de sûreté présentées :] Démarche de sélection des scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation et de son plan d'urgence interne : il conviendra que le dossier d'options de sûreté présente :
  - une classification des scénarios en cohérence avec les niveaux de défense en profondeur, et avec les prescriptions de l'arrêté du 7 février 2012 relatif aux INB, en distinguant notamment les scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation, ceux retenus pour le dimensionnement du PUI et les scénarios exclus. L'exclusion de certains scénarios devra être particulièrement justifiée. L'examen d'un scénario d'emballage de réactions exothermiques à l'intérieur de plusieurs colis devra notamment être présenté.»
- [1][Cigéo-2014-D-29][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] la liste des agressions internes et externes retenues, incluant — conformément aux articles 3.5 et 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 — les actes de malveillance, la méthode de traitement de ces agressions et les options prévues pour en diminuer l'occurrence et/ou maîtriser les effets, en considérant notamment les spécificités liées à la co-activité des activités de construction et de fonctionnement de l'installation (voire, le cas échéant, de fermeture partielle).»
- [1][Cigéo-2014-D-30][16] « [Ce dossier d'options de sûreté devra présenter] les principes de traitement du cumul d'événements et d'agressions.»
- [1][Cigéo-2014-E-6][25] « L'Andra présentera, dans le DOS, la prise en compte des premières évaluations complémentaires de sûreté dans la conception de Cigéo.»
- [1][Cigéo-2014-D-22][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier] la prise en compte de la démarche des évaluations complémentaires de sûreté (ECS).»
- [1][Cigéo-2014-D-32][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] la prise en compte des premières évaluations complémentaires de sûreté dans la conception de l'installation (dimensionnement des équipements en particulier), les objectifs de protection radiologiques pour le personnel et leur justification, incluant la démarche d'optimisation associée, »

### 3.2. Objectif de protection radiologique (travailleurs, groupes de population, valeurs cibles) et démarche d'optimisation

- [1][Cigéo-2014-D-32][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] la prise en compte des premières évaluations complémentaires de sûreté dans la conception de l'installation (dimensionnement des équipements en particulier), les objectifs de protection radiologiques pour le personnel et leur justification, incluant la démarche d'optimisation associée, »
- [1][Cigéo-2015-D-5][11] « [Concernant la démarche et les exigences de sûreté présentées :] Objectifs de protection contre les rayonnements ionisants : le dossier d'options de sûreté devra présenter la démarche d'optimisation ayant conduit aux objectifs qui seront finalement retenus, et notamment pour le personnel en zone réglementée en situations incidentelles.»
- [3][Cigéo-2010-E-6][24] « 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. »
- [3][Cigéo-2011-R-8][21] « 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»

- [3][Cigéo-2014-D-16][10] « [Concernant la faisabilité industrielle de ces concepts d'ouvrages de fermeture :] Contraintes liées à la radioprotection du personnel : leur intégration devra être détaillée dans l'étude de faisabilité technique des scellements.»
- [3][Cigéo-2014-E-4][22] « [Pour ce qui concerne la conception du bouchon de radioprotection :] L'Andra justifiera la pertinence de la conception du bouchon de radioprotection au regard de la sûreté en phase d'exploitation (mise en place et dépose en cas de retrait des colis de déchets HLA) et au regard de son impact potentiel sur la sûreté en phase post-fermeture (interaction mécanique avec les colis de déchets HLA).»
- [3][Cigéo-2014-D-10][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
Bouchons de radioprotection des alvéoles HLA : la pertinence de leur conception devra être justifiée au regard de la sûreté lors des opérations d'exploitation (mise en place et dépose de bouchons en cas de retrait des colis de déchets HLA) et en phase de post-fermeture (interactions mécaniques avec les colis HLA).»

### 3.3. Construction : méthodes de creusement, soutènements, premiers éléments concernant le domaine de fonctionnement et la reconnaissance à l'avancement

- [1][Cigéo-2014-D-27][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] une première définition des domaines de fonctionnement envisagés ainsi que des paramètres clés de l'installation gouvernant la sûreté à considérer pour la construction, le fonctionnement, la mise à l'arrêt définitif, le démantèlement ou la fermeture, l'entretien et la surveillance, selon les sous-ensembles concernés de l'installation.»
- [2][Cigéo-2010-E-17.1][24] « Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain - 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.»
- [2][Cigéo-2013-D-10][9] « l'élargissement de l'usage d'un tunnelier « pleine face » pour excaver les galeries de liaison de l'installation souterraine, en plus de la descendrière et des galeries principales composant la zone centrale des installations souterraines : il conviendra de définir pour la demande d'autorisation de création, si cette solution de creusement est retenue, le ou les points d'arrêt et les investigations nécessaires permettant de s'assurer de l'absence d'effets réducteurs du creusement sur les ouvrages souterrains et les équipements.»
- [3][Cigéo-2014-D-13][10] « [Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :]  
Composants métalliques du stockage : le dimensionnement des composants métalliques du stockage (cbemisage des alvéoles et (sur) conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension devra être précisé (rappel d'une demande issue de l'instruction du « dossier 2005 »
- [3][Cigéo-2011-R-13][21] « Sûreté après la fermeture du stockage :  
Préciser le dimensionnement des composants métalliques du stockage (cbemisage des alvéoles et (sur)conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension.»

### 3.4. Sujets techniques particuliers :

#### 3.4.1. Prise en compte des agressions internes et externes et de leur cumul possible (articles 3.5 et 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 [18])

##### ▪ Incendie

- [1][Cigéo-2010-E-7.4][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie - 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.»
- [1][Cigéo-2010-E-7.5][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie - 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.»

- [1][Cigéo-2011-R-2][21] « Justifier l'exclusion d'un scénario d'incendie de reprise de réactions exothermiques à l'intérieur de colis, notamment de boues bitumées.»
- [1][Cigéo-2011-R-3][21] « En complément des dispositions de prévention de l'incendie, présenter les dispositions additionnelles que vous jugez nécessaires pour éteindre un feu ou en limiter les conséquences dans les zones où les conditions d'ambiance 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.»
- [1][Cigéo-2011-R-9][21] « Sécurité en phase d'exploitation du stockage : 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 »
- [1][Cigéo-2014-E-10][25] « L'Andra présentera, dans le DOS, les dispositions de maîtrise des relâchements de substances radioactives en provenance des secteurs de feu, en cas d'incendie dans la partie utile ou la cellule de manutention des alvéoles MAVL.»
- [2][Cigéo-2010-E-7.2a][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie - 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... ). »
- [2][Cigéo-2010-E-7.3][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie - L'Andra justifiera le caractère enveloppe des effets des incendies qui seront retenus pour le dimensionnement des dispositions de protection contre l'incendie.»
- [2][Cigéo-2013-D-9][9] « l'architecture regroupée semi-enterrée des installations de surface : il conviendra d'analyser de manière approfondie certains risques (incendie, inondation d'origine interne ou externe) qui devront être considérés en fonction de cette architecture particulière.»
- [3][Cigéo-2010-E-7.2b][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'incendie - 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.» (en lien avec la surveillance)
- [3][Cigéo-2013-D-12][9] « les dispositions concrètes de maîtrise des risques incendie : une attention particulière devra être portée sur la maîtrise des risques liés à la co-activité, le désenfumage des galeries et l'intervention des secours.»
- [3][Cigéo-2014-E-9][25] « L'Andra complètera, dans le dossier accompagnant la DAC, les exigences de son référentiel incendie relatives à l'opacité et la toxicité des fumées.»
- [3][Cigéo-2015-D-6][11] « [Concernant les risques liés à l'incendie : il conviendra que le dossier support à la demande d'autorisation de création :] apporte une attention particulière à la présentation des outils de simulation numérique utilisés pour l'analyse des risques d'incendie et à la démonstration de la validité de leur domaine d'utilisation. Conformément aux dispositions de l'article 3.8 de l'arrêté du 7 février 2012, des éléments probants permettant de justifier la compatibilité des outils de simulation numérique utilisés avec les spécificités de Cigéo devront être fournis. Ils devront notamment intégrer la prise en compte du retour d'expérience et des jugements d'experts.»

- Explosion

- [1][Cigéo-2010-E-8.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'explosion - 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.»
- [1][Cigéo-2010-E-8.4][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'explosion - 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.»
- [2][Cigéo-2010-E-8.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'explosion - 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. »
- [2][Cigéo-2011-R-14][21] « Préciser les dispositions permettant de s'assurer de l'efficacité du système de ventilation des alvéoles de déchets MAVL et analyser les risques d'explosion dans ces alvéoles de stockage ainsi que dans les galeries attenantes.»

- [3][Cigéo-2010-E-8.3][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'explosion - 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.»
- [3][Cigéo-2015-D-7][11] « Risques liés à l'explosion : l'établissement d'un référentiel « explosion » sur un principe comparable à celui rédigé par l'Andra sur l'incendie serait bénéfique.»

- Inondation interne et externe

- [1][Cigéo-2010-E-10][24] « 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.»
- [3][Cigéo-2010-E-14.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'inondation d'origine externe - L'Andra présentera les dispositifs de maîtrise des eaux qui seront mis en place au niveau du Barrois dans les puits et dans la descenterie.  
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.»
- [3][Cigéo-2010-E-14.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'inondation d'origine externe - 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.»
- [3][Cigéo-2013-D-9][9] « l'architecture regroupée semi-enterrée des installations de surface : il conviendra d'analyser de manière approfondie certains risques (incendie, inondation d'origine interne ou externe) qui devront être considérés en fonction de cette architecture particulière.»

- Séisme

- [2][Cigéo-2010-E-13.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés aux séismes - 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.»
- [2][Cigéo-2010-E-13.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés aux séismes - 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.»

### 3.4.2. Vieillesse et maintenance

- [1][Cigéo-2010-E-3.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'évolution des matériaux - 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. »
- [1][Cigéo-2010-E-3.3][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'évolution des matériaux - 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. »

- [2][Cigéo-2010-E-3.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à l'évolution des matériaux - 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. »
- [3][Cigéo-2013-D-11][9] « les intervalles de temps laissés entre la construction d'alvéoles HA et leur exploitation : l'influence sur la sûreté en exploitation et à long terme du stockage des durées laissées entre la construction d'alvéoles HA et leur exploitation devra être décrite dans le dossier présenté en support de la demande d'autorisation de création. »

#### 3.4.3. Confinement – Ventilation

- [1][Cigéo-2010-E-4.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à la dissémination de matières radioactives - 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. »
- [1][Cigéo-2010-E-4.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à la dissémination de matières radioactives - 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. »
- [1][Cigéo-2011-R-1][21] « Compléter l'analyse des risques liés à une défaillance de la première barrière de confinement (assurée par les colis de déchets) et présenter, les dispositions visant, en cas de défaillance du confinement statique, à assurer, lorsque nécessaire, un confinement dynamique dans certains secteurs de l'installation que vous définirez.»
- [1][Cigéo-2010-E-12][24] « 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.»
- [2][Cigéo-2011-R-14][21] « Préciser les dispositions permettant de s'assurer de l'efficacité du système de ventilation des alvéoles de déchets MAVL et analyser les risques d'explosion dans ces alvéoles de stockage ainsi que dans les galeries attenantes.»
- [2][Cigéo-2015-D-2][11] « [Concernant la mise en place d'un confinement dynamique avec filtration à très haute efficacité pour les alvéoles MAVL] : Les éléments relatifs à la maintenance de ces équipements, qui pourraient être soumis à une vitesse de colmatage plus importante que dans un environnement classique d'utilisation compte tenu de l'environnement cimentaire, restent toutefois à préciser dans le dossier support à la demande d'autorisation de création.»
- [2][Cigéo-2010-E-5][24] « 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. »

#### 3.4.4. Criticité

- [1][Cigéo-2011-R-10][21] « Sûreté en phase d'exploitation du stockage : Poursuivre les études de sûreté-criticité en visant à établir les critères d'admissibilité des colis.»

#### 3.4.5. Manutention, dont funiculaire (notamment référentiel)

- [1][Cigéo-2010-E-9.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés aux opérations de manutention - 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.»
- [1][Cigéo-2011-R-15][21] « 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.»
- [3][Cigéo-2010-E-9.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés aux opérations de manutention - 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. »
- [3][Cigéo-2011-R-8][21] « 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»

#### 3.4.6. Co-activités

- **[1]**[Cigéo-2010-E-11.1][24] « 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. [...] »
- **[3]**[Cigéo-2010-E-11.2][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à la co-activité, l'Andra complètera son analyse des risques en intégrant notamment les éléments suivants : [...] L'Andra justifiera le positionnement et le nombre des sas marquant la séparation physique entre la zone nucléaire et la zone de travaux. [...] »
- **[3]**[Cigéo-2010-E-11.3][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à la co-activité, l'Andra complètera son analyse des risques en intégrant notamment les éléments suivants : [...] 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). »
- **[3]**[Cigéo-2010-E-11.4][24] « Pour ce qui concerne les risques liés à la co-activité, l'Andra complètera son analyse des risques en intégrant notamment les éléments suivants : Les travaux effectués dans la zone nucléaire mettant notamment en oeuvre 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. »
- **[3]**[Cigéo-2011-R-19][21] « Compléter votre analyse des risques liés à la concomitance d'activités d'exploitation et d'activités de construction dans les installations souterraines pour tenir compte des risques d'agression des zones nucléaires du stockage par les activités de construction. J'ai bien noté votre engagement sur ce point. »
- **[3]**[Cigéo-2015-D-9][11] « - Risques liés à la coactivité : il conviendra que le dossier de demande d'autorisation de création : identifie les activités humaines sensibles pour la sûreté de l'installation. En particulier, les risques liés à un relâchement dans l'application des consignes devront être développés. »
- **[3]**[Cigéo-2014-E-11][25] « L'Andra présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositions techniques et organisationnelles retenues afin de garantir à la fois le maintien des séparations entre les zones nucléaire et de travaux en position fermée en situation normale et le franchissement aisé de ces séparations en situation d'intervention lorsque nécessaire. »
- **[3]**[Cigéo-2014-E-12][25] « L'Andra présentera, dans la DAC, les dispositions techniques et organisationnelles retenues afin de s'assurer que les moyens d'intervention pourront atteindre un éventuel sinistre dans un délai compatible avec les objectifs retenus, notamment en tenant compte des cas d'encombrement envisageables. »

#### 3.5. Fermeture :

##### 3.5.1. Prise en compte des résultats des instructions des dossiers « Ouvrages de fermeture » et « Maîtrise des risques en exploitation »

- **[3]**[Cigéo-2014-D-15][10] « [Concernant la faisabilité industrielle de ces concepts d'ouvrages de fermeture :] Zone d'argilite endommagée à la paroi : la mise en place des scellements nécessitera une dépose totale ou partielle des revêtements en béton et des désordres plus ou moins prononcés pourraient alors apparaître dans les parois des ouvrages. Il convient donc que l'Andra précise comment ces désordres possibles seront pris en compte dans la conception des ouvrages, en particulier dans le cas des scellements à l'extrémité des alvéoles MAVL, pour lesquels les possibilités d'implantation ne pourront plus être adaptées une fois les alvéoles construits. Une définition de l'acceptabilité de la zone d'argilite endommagée en paroi devra en particulier être définie. Cette définition devra présenter des marges pour tenir compte d'un possible sur-endommagement produit lors de la mise en place du scellement (dépose du revêtement...) et d'éventuelles incertitudes résiduelles relatives au comportement différé des ouvrages. »

##### 3.5.2. Proposition de fermeture « au plus tard » (dont lien avec la co-activité)

- **[1]**[Cigéo-2015-D-10][11] « Concernant la conduite de l'installation :

*Retrait des colis de déchets : en l'absence d'orientation précise sur les conditions de la réversibilité du stockage, l'Andra doit conserver une approche prudente visant à démontrer la possibilité du retrait de colis au cours de la phase d'exploitation de Cigéo, que les alvéoles soient scellées à la suite de leur remplissage ou ultérieurement. Les études menées devront en outre permettre d'apprécier les avantages et inconvénients de différentes options en terme de sûreté et de radioprotection, tant au cours de l'exploitation que sur le long terme.»*

3.6. post- incident/accident (en application du principe de défense en profondeur précisé à l'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 [18]), notamment en lien avec la récupérabilité

- [1][Cigéo-2014-E-13][25] « Dans le DOS, l'Andra présentera les principes de conceptions retenus visant à permettre, en cas d'incident ou d'accident affectant un alvéole en cours d'exploitation, et une fois l'installation mise en sécurité : la reprise de fonctions d'exploitation (surveillance, capacité d'intervention,...) dans l'alvéole concerné, incluant le cas échéant le retrait de colis dans l'alvéole impacté ; la préservation du reste de l'installation et notamment la fonction de récupérabilité.»
- [1][Cigéo-2015-D-11][11] « Concernant le rétablissement des différentes fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle : Le dossier d'options de sûreté devra s'attacher, au titre de l'application du principe de défense en profondeur, à présenter les enjeux de sûreté en exploitation comme à long terme liés au rétablissement des diverses fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle en distinguant en particulier :
  - la possibilité de poursuivre les opérations de stockage,
  - la possibilité de retirer des colis, impliqués ou non dans la situation accidentelle,
  - la possibilité de mise en œuvre des opérations de fermeture du stockage.

*La démarche présentée devra notamment intégrer l'analyse du retour d'expérience existant sur ce sujet...»*

- [2][Cigéo-2014-E-11][25] « L'Andra présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, les dispositions techniques et organisationnelles retenues afin de garantir à la fois le maintien des séparations entre les zones nucléaire et de travaux en position fermée en situation normale et le franchissement aisé de ces séparations en situation d'intervention lorsque nécessaire.»
- [2][Cigéo-2014-E-12][25] « L'Andra présentera, dans la DAC, les dispositions techniques et organisationnelles retenues afin de s'assurer que les moyens d'intervention pourront atteindre un éventuel sinistre dans un délai compatible avec les objectifs retenus, notamment en tenant compte des cas d'encombrement envisageables.»
- [2][Cigéo-2015-D-12][11] « Concernant le rétablissement des différentes fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle : Le dossier d'options de sûreté devra s'attacher, au titre de l'application du principe de défense en profondeur, à présenter les enjeux de sûreté en exploitation comme à long terme liés au rétablissement des diverses fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle [...] [cf demande 2015-D-11] Le dossier de demande d'autorisation de création devra présenter la prise en compte et la déclinaison de ces enjeux.»

3.7. Facteurs organisationnels et humains (FOH) :

3.7.1. Sous-traitance (dont classification des activités)

- [1][Cigéo-2014-D-17][16] « (l'ASN) estime donc important que lui soient présentés les principes retenus par l'Andra pour concevoir et préparer la mise en place de l'organisation nécessaire à l'exploitation de cette installation, incluant les interfaces avec d'éventuels sous-traitants. Ainsi, l'ensemble du corpus déjà annoncé devra être complété par une esquisse de la notice prévue au II. de l'article 8 du décret du 2 novembre 2007 présentant les capacités techniques de l'Andra en vue de la construction et de l'exploitation de cette installation telles que définies à l'article 2.1.1 de l'arrêté du 7 février 2012 »

3.7.2. Prise en compte des besoins des intervenants et de l'organisation dans la conception

- [1][Cigéo-2014-D-21][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier] la démarche de conception mise en œuvre pour prendre en compte les besoins des futurs intervenants et de la future organisation dans les choix de conceptions»
- [1][Cigéo-2014-D-34][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] les principes mis en œuvre dans le cadre de la démarche de conception, pour prendre en compte les besoins des futurs intervenants et de la future organisation dans les choix de conception, en considérant les phases de construction et de fonctionnement de l'installation (en particulier utilisabilité des interfaces hommes-machines et modalités de prise en compte de l'ergonomie, des conditions d'ambiance et de l'accessibilité aux locaux et aux matériels).»

### 3.8. Gestion des déchets :

- [3][Cigéo-2015-D-8][11] « - Risques de dissémination de substances radioactives : il conviendra que le dossier support à la demande d'autorisation de création : précise les modalités de gestion des eaux d'exhaure des alvéoles HA.»

## 4. Sûreté après fermeture :

### 4.1. Scénarios (discrimination des scénarios, pertinence, niveaux d'aléa retenus)

- [1][Cigéo-2013-D-3][8] « L'Andra devra tenir compte des incertitudes résiduelles en retenant à titre de précaution dans son évaluation de sûreté de l'installation de stockage un scénario comprenant une ou plusieurs discontinuités traversant le Callovo-Oxfordien afin d'évaluer la robustesse du stockage, même si la vraisemblance d'un tel scénario peut être considérée comme faible. »
- [1][Cigéo-2014-D-23][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra permettre d'apprécier] une première estimation de l'impact radiologique de l'installation sur l'environnement et sur l'homme, pour les principaux scénarios considérés, au stade des études d'avant-projet sommaire, comme enveloppe des situations de fonctionnement envisageables.»
- [1][Cigéo-2014-D-31][16] « [Le dossier d'options de sûreté devra présenter] les situations retenues in fine pour le dimensionnement de l'installation.»
- [1][Cigéo-2015-D-4][11] « [Concernant la démarche et les exigences de sûreté présentées :] Démarche de sélection des scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation et de son plan d'urgence interne : il conviendra que le dossier d'options de sûreté présente : une classification des scénarios en cohérence avec les niveaux de défense en profondeur, et avec les prescriptions de l'arrêt du 7 février 2012 relatif aux INB, en distinguant notamment les scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation, ceux retenus pour le dimensionnement du PUI et les scénarios exclus. L'exclusion de certains scénarios devra être particulièrement justifiée. L'examen d'un scénario d'emballement de réactions exothermiques à l'intérieur de plusieurs colis devra notamment être présenté.»
- [2][Cigéo-2011-R-11][21] « Sûreté après la fermeture du stockage :  
Explicitier, en regard 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.»

### 4.2. Objectif de protection radiologique (groupe de référence, valeurs cibles) et démarche d'optimisation

- [3][Cigéo-2011-R-18][21] « Sûreté après la fermeture du stockage : Poursuivre les travaux visant à conforter les hypothèses relatives aux biosphères envisageables sur le site retenu.»

### 4.3. Analyse des risques d'origine interne et externe

- [2][Cigéo-2010-E-13.1][24] « Pour ce qui concerne les risques liés aux séismes - 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.»
- [2][Cigéo-2010-E-15.1][24] « Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - 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.»
- [2][Cigéo-2013-E-3.2][23] « Dans le dossier accompagnant la DAC, l'Andra vérifiera le caractère enveloppe du spectre sismique retenu pour la phase après-fermeture vis-à-vis de séismes physiquement plausibles à l'aplomb de la ZIRA dont le foyer se situerait à moins de 10 km de profondeur.»

### 4.4. Modélisation du système (hypothèses, outils, phénoménologie, marges, incertitudes...)

- [2][Cigéo-2011-R-5][21] « Données pour la modélisation des transferts :

*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.»*

- [2][Cigéo-2011-R-6][21] « *Données pour la modélisation des transferts : 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.»*
- [2][Cigéo-2011-R-17][21] « *Sûreté après la fermeture du stockage : Améliorer la connaissance des écoulements souterrains et leur évolution à long terme dans les formations encaissantes au regard des calculs d'impact.»*

#### 4.5. Combinaison des approches déterministe et probabiliste, notamment pour évaluer l'impact du stockage et quantifier l'aléa sismique

- [2][Cigéo-2013-D-6][8] « *A l'avenir, l'Andra devra [...] combiner plus systématiquement approches déterministe et probabiliste, notamment pour évaluer l'impact du stockage et quantifier l'aléa sismique. »*

### 5. Surveillance

- [1][Cigéo-2010-E-12][24] « *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.»*
- [1][Cigéo-2014-D-33][16] « *[Le dossier d'options de sûreté devra présenter] les principes et objectifs retenus pour la définition du programme de surveillance de l'installation (incluant les colis) pendant sa phase de fonctionnement.»*
- [2][Cigéo-2014-E-7][25] « *L'Andra présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, les paramètres clés gouvernant la sûreté après-fermeture de Cigéo, qui seront surveillés pendant l'exploitation, ainsi que les mesures correctives prévues en cas de dérive constatée au regard de la sûreté de l'installation avant et après sa fermeture.»*
- [3][Cigéo-2010-E-17.2][24] « *Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain - 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.»*

### 6. Réversibilité

#### 6.1. Adaptabilité

6.1.1. Dispositions prévues par l'Andra, au stade du DOS, pour l'adaptabilité de l'installation, notamment au regard de l'exigence d'adaptabilité définie par l'ASN dans son avis du 31 mai 2016 [20]

- [1][Cigéo-2013-E-1.5][23] « *L'Andra poursuivra, conformément aux orientations définies par le PNGMDR, les études sur un scénario de stockage des combustibles usés, afin de vérifier que les concepts de stockage retenus pour Cigéo restent compatibles avec l'hypothèse du stockage direct de combustibles usés si ceux-ci étaient un jour considérés comme des déchets. »*
- [1][Cigéo-2013-D-4][8] « *Toutefois, dans une démarche de sûreté et de robustesse à l'égard des choix énergétiques futurs, l'Andra doit poursuivre les études sur les options techniques de conception qui seraient à mettre en œuvre pour le stockage direct éventuel de combustibles usés afin que, en cas d'autorisation de la création du stockage, la possibilité technique d'accueil de combustibles usés reste préservée.»*
- [1][Cigéo-2013-D-5][8] « *La validation du concept d'alvéole retenu par l'Andra dans le dossier 2005 pour le stockage de combustible usé nécessiterait la réalisation d'un démonstrateur in situ afin de qualifier les systèmes de manutention des colis dans l'alvéole, notamment en regard à la possibilité de retrait des colis sur des durées d'exploitation longues, compte tenu de l'exigence de réversibilité du stockage. Cette disposition serait à mettre en œuvre si le stockage direct de combustibles usés était décidé.»*
- [2][Cigéo-2013-D16][9] « *Le développement par étapes de l'installation, sur une durée a priori séculaire, implique de considérer : Le creusement et l'exploitation de certains alvéoles de devant intervenir que dans plusieurs dizaines d'années, des évolutions de connaissances et de techniques ainsi que le retour d'expérience pourront conduire*

à modifier les concepts retenus initialement dans le dossier de demande d'autorisation de création. Ces évolutions pourront notamment être issues des réexamens périodiques de sûreté qui conduiront à la réévaluation de sûreté de l'installation au regard des meilleures pratiques internationales.»

- [2][Cigéo-2014-D-18][16] «vous devez présenter, dans les options de sûreté du projet Cigéo, les premiers éléments de justification de la flexibilité de l'installation et notamment concernant sa capacité à évoluer en vue d'accueillir les déchets pouvant relever d'un stockage en couche géologique profonde mais qui ne sont pas retenus dans l'inventaire de dimensionnement. Pour cela, vous vous appuyerez sur l'inventaire que vous prévoyez d'identifier dans le Plan directeur pour l'exploitation du stockage.»
- [2][Cigéo-2013-D-15][9] « le développement par étapes de l'installation, sur une durée a priori séculaire, implique de considérer :  
Le volume à l'intérieur duquel pourra s'étendre le stockage est limité et il convient de le gérer au mieux. Par ailleurs, le creusement et le fonctionnement des différentes tranches sont prévus pour être réalisés au fur à et mesure. La construction et le fonctionnement de nouvelles tranches peuvent alors avoir un impact sur la sûreté des tranches précédemment en fonctionnement.  
Une conception globale de l'installation, en considérant son extension maximale, doit donc être définie et présentée avec un niveau de démonstration de sûreté suffisant dès le dépôt de la demande d'autorisation de création de l'installation.»

## 6.2. Récupérabilité (en lien avec la sûreté en exploitation)

### 6.2.1. Maîtrise des conditions de sûreté et de radioprotection, y compris en cas de dégradation des ouvrages et des colis de déchets, et notamment :

- Paramètres à surveiller et moyens à mettre en œuvre

- [1][Cigéo-2011-R-16][21] « Confirmer l'efficacité des dispositions permettant de reprendre les colis de déchets pendant la période de réversibilité. »
- [1][Cigéo-2014-D-19][16] «Enfin, les documents relatifs aux options techniques de récupérabilité devront présenter, au stade des études d'avant-projet sommaire, la prise en compte des éléments pouvant conduire à une diminution de cette capacité d'exercice de la réversibilité, en particulier :
  - la difficulté d'accessibilité des colis de déchets, notamment à la suite de la fermeture des alvéoles de stockage, des galeries d'accès puis du centre de stockage ;
  - une perte d'intégrité du confinement des conteneurs de déchets radioactifs pouvant impliquer des contraintes fortes en termes de radioprotection ou limiter les possibilités de maintenance ;
  - le vieillissement ou l'endommagement des structures (par exemple une déformation des alvéoles de stockage) rendant difficile les opérations de maintenance.»
- [2][Cigéo-2010-E-2.1][24] « Pour ce qui concerne la démarche de sûreté pour la phase d'exploitation du stockage - 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. »
- [2][Cigéo-2015-D-10][11] « Concernant la conduite de l'installation :  
Retrait des colis de déchets : en l'absence d'orientation précise sur les conditions de la réversibilité du stockage, l'Andra doit conserver une approche prudente visant à démontrer la possibilité du retrait de colis au cours de la phase d'exploitation de Cigéo, que les alvéoles soient scellées à la suite de leur remplissage ou ultérieurement. Les études menées devront en outre permettre d'apprécier les avantages et inconvénients de différentes options en terme de sûreté et de radioprotection, tant au cours de l'exploitation que sur le long terme.»

### 6.2.2. Opérations liées à la réouverture

- [1][Cigéo-2014-D-3][10] « Concernant la réversibilité et récupérabilité des colis de déchets : Pour finir, je note que les opérations de déconstruction des ouvrages de fermeture (bouchons d'alvéoles HA, scellements d'alvéoles MAVL, ...) sont lourdes et délicates. Ainsi, si l'option d'une fermeture des alvéoles au cours de la phase d'exploitation était retenue, je considère que des essais pour démontrer la faisabilité de la réouverture d'alvéoles en vue de récupérer des colis de déchets devraient être réalisés au cours de la phase pilote.»
- [1][Cigéo-2014-D-4][10] « La question de la réouverture d'alvéoles potentiellement scellées devra par ailleurs être traitée dans le dossier d'options techniques de récupérabilité que vous vous êtes engagée à remettre en 2015.»

## 7. Phase industrielle pilote

### 7.1. Définition des éléments nécessaires au confortement de la démonstration de sûreté

- **[1]**[Cigéo-2011-D-1][21] « *S'agissant des ouvrages de grande dimension, je vous demande de m'indiquer sous deux ans dans quel cadre et à quelle échéance un démonstrateur pourra être réalisé pour la qualification d'ouvrages de grandes dimensions. Vous préciserez également le programme d'expérimentations associées et présenterez son articulation avec l'approche de réalisation progressive du stockage que vous envisagez de mettre en œuvre.*»
- **[1]**[Cigéo-2011-D-2][21] « *Présenter, sous un an, les différentes phases prévues pour la réalisation du stockage ainsi que leurs échéances respectives en cohérence avec la disponibilité des éléments de démonstration nécessaires à l'examen de la sûreté de l'installation.*»
- **[1]**[Cigéo-2013-D-19][9] « *Je vous demande en conséquence de me transmettre sous 6 mois la liste des éléments techniques dont les performances doivent être confirmées par des résultats d'essais ou de démonstrateurs ainsi que leur calendrier de réalisation. Vous différenciez ceux qui relèvent de la demande d'autorisation de création et ceux qui relèvent du dossier de mise en service.* »
- **[1]**[Cigéo-2014-D-3][10] « *Concernant la réversibilité et récupérabilité des colis de déchets : Pour finir, je note que les opérations de déconstruction des ouvrages de fermeture (bouchons d'alvéoles HA, scellements d'alvéoles MAVL, ...) sont lourdes et délicates. Ainsi, si l'option d'une fermeture des alvéoles au cours de la phase d'exploitation était retenue, je considère que des essais pour démontrer la faisabilité de la réouverture d'alvéoles en vue de récupérer des colis de déchets devraient être réalisés au cours de la phase pilote.*»
- **[3]**[Cigéo-2014-E-1.3][22] « *[Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra poursuivra ses investigations pour développer la variante du scellement de galeries avec coupures hydrauliques jusqu'au stade du prototype dans le cadre de la phase industrielle pilote.*»

## **A2. REVUE AIEA - VERSION FRANÇAISE**



**AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**REVUE INTERNATIONALE PAR LES PAIRS SUR**

**LE « DOSSIER D'OPTIONS DE SURETE »**

**DU PROJET DE STOCKAGE DE DECHETS RADIOACTIFS EN COUCHE  
GEOLOGIQUE PROFONDE : CIGEO**

**RAPPORT DE LA REVUE PAR LES PAIRS**

**Novembre 2016**

**Paris, France**

**RAPPORT FINAL**

## PRÉAMBULE

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) prépare actuellement l'instruction de la demande d'autorisation de création, prévue en 2018, d'un centre de stockage en couche géologique profonde, appelé Cigéo, pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL). Cette autorisation est précédée par la soumission d'un « Dossier d'options de sûreté » à l'Autorité de sûreté nucléaire. Cette étape donne à l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) la possibilité de bénéficier d'un avis de l'ASN pour la préparation de la demande d'autorisation sur les principes de sûreté et les méthodes présentés. Le dossier définit les objectifs, concepts et principes choisis pour garantir la sûreté du centre de stockage.

L'ASN a demandé à l'AIEA d'organiser la revue du « Dossier d'options de sûreté » par ses pairs internationaux. Ce rapport présente le point de vue obtenu par consensus du groupe d'experts internationaux réunis par l'AIEA pour l'exécution de cette revue. Les experts ont agi à titre personnel et l'avis présenté ne reflète pas nécessairement celui de leur pays ou organisation, ni celui de l'AIEA.

La revue a été réalisée en se référant aux normes de sûreté applicables de l'AIEA, ainsi qu'aux expériences et pratiques reconnues à l'échelle internationale.

La revue par les pairs a été sollicitée par l'ASN. Elle s'est tenue sur la base des documents fournis par l'Andra en tant qu'agence chargée du développement du projet Cigéo et, de ce fait, de sa sûreté. En conséquence, et pour raisons pratiques, les points soulevés par la revue sont directement adressés à l'Andra. Le rapport est cependant soumis en premier lieu à l'Autorité de sûreté nucléaire, afin de lui permettre d'utiliser les résultats de la revue dans le suivi du projet de l'Andra.

L'équipe de revue souhaite exprimer ses remerciements à l'ASN et à l'Andra pour leurs discussions ouvertes et constructives, ainsi que pour leur assistance dans la préparation et l'exécution de la mission.

## RÉSUMÉ

À la demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), l'AIEA a réuni une équipe d'experts internationaux du 6 au 15 novembre pour la revue du « Dossier d'Options de Sûreté » (DOS) établi par l'Andra dans le cadre du projet Cigéo, relatif au stockage de déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue et de haute activité dans les formations du Callovo-Oxfordien (COX) de la Meuse et de la Haute-Marne. Ce dossier stratégique définit les objectifs, concepts et principes choisis pour garantir la sûreté du projet Cigéo.

La revue s'est concentrée sur la stratégie mise en œuvre en matière de recherche et développement (R&D) et d'acquisition de connaissances, ainsi que sur l'approche employée pour la définition de scénarios d'évaluation de la sûreté, en phases d'exploitation et après fermeture. L'approche adoptée concernant les actions post-Fukushima a également été abordée.

Le procédé itératif, par étapes, employé pour le développement du projet Cigéo a impliqué jusqu'à présent la publication de plusieurs dossiers de sûreté et de faisabilité, leur instruction par les autorités administratives, des interactions avec les acteurs locaux ainsi que des débats publics à échelles locale et nationale. L'Équipe de Revue Internationale (ERI) souligne positivement la décision d'introduire une phase industrielle pilote dans le processus, ainsi que la préparation d'un DOS. Cela confirme la prise en compte par l'Andra des attentes et propositions du public, exprimées lors du dernier débat public.

Concernant la gestion du projet Cigéo, l'ERI considère que le Plan Directeur d'Exploitation (PDE) est un outil de gestion efficace et peut jouer un rôle important dans la communication et lors des consultations de l'Andra avec l'ASN, le public et les autres parties prenantes. Afin d'amélioration de la gestion du projet et d'établir d'une relation de confiance avec l'ASN et les parties prenantes, l'ERI considère que l'Andra doit :

- Préciser comment les nouvelles informations seront employées lors du passage d'une étape à la suivante dans le cadre du développement incrémentiel du projet Cigéo et décrire le lien entre les différents jalons du processus de développement de Cigéo, du processus d'autorisation réglementaire et les étapes-clés du plan de R&D de l'Andra.
- Développer une stratégie pour s'assurer que les données et informations importantes pour la sûreté en exploitation et après fermeture seront mises à jour, conservées et comprises pendant la durée plus que séculaire d'exploitation prévue de Cigéo.
- Clarifier son nouveau plan de R&D de manière cohérente avec le développement de Cigéo par l'identification et la priorisation des activités de R&D, la description des objectifs de R&D et la définition du lien existant entre la R&D et l'étape du programme en cours.
- Aborder plus en détail, dans le développement du plan de surveillance mis en œuvre au cours de la phase d'exploitation :
  - la relation entre les paramètres de surveillance et la sûreté après fermeture ;
  - la faisabilité des activités de suivi prévues au cours de la période d'exploitation, y compris la maintenance ou le remplacement du matériel,
  - et la prise en compte de leur potentiel impact négatif sur la performance des composants du stockage au regard de la sûreté après fermeture.
- Poursuivre le renforcement du dialogue avec les producteurs de déchets et rechercher des possibilités d'optimisation générale de la gestion des déchets avant et pendant leur stockage.

Le contenu du DOS et les discussions engagées au cours de la mission ont donné à l'équipe de revue une assurance raisonnable quant à la robustesse du concept de stockage. Constatant que, dans de nombreux domaines, la recherche est toujours en cours pour la démonstration ou la confirmation de la sûreté, l'ERI a identifié quelques domaines supplémentaires qu'il serait utile d'approfondir, afin de renforcer la confiance existante dans la démonstration de sûreté : production et transport de gaz, description du vieillissement des composants du centre de stockage au cours de la période d'exploitation, incertitudes liées au temps de resaturation des alvéoles de stockage et effet sur la dégradation des colis de déchets, rôle des microbes et formation potentielle de biofilms au cours de la période d'exploitation, et conséquences de défaillances non détectées.

L'ERI considère que le processus global de gestion mis en œuvre par l'Andra, pour la définition systématique et la recherche de scénarios de sûreté, est bon. L'ERI apprécie l'utilisation de scénarios hypothétiques (« what-if »), en ce qu'ils permettent à l'Andra d'acquérir une bonne compréhension du comportement du système du centre de stockage en conditions extrêmes, ainsi que d'illustrer la robustesse du système de stockage. Afin de démontrer la robustesse du système de stockage de manière plus approfondie encore, l'ERI estime toutefois que l'Andra doit également :

- Considérer la présence de structures permettant l'écoulement des eaux au sein du COx dans le cadre de calculs hypothétiques pour renforcer la démonstration de la robustesse du système de stockage.
- Justifier les raisons pour lesquelles il n'est pas nécessaire d'inclure, dans le scénario d'évolution normale, un conteneur HA initialement défectueux ou un conteneur HA prématurément défaillant.
- Inclure, dans son rapport de sûreté et sa démonstration de sûreté, l'activité microbienne présente au niveau de l'interface entre le chemisage et le matériau de remblai, étayé, si nécessaire, par les résultats de recherche sur cette activité.

L'Andra a couvert en profondeur les scénarios d'intrusion humaine en les classant parmi les scénarios à évolution altérée ou en les incluant dans les scénarios « what-if ». Il est reconnu à l'échelle internationale qu'il n'existe aucune base scientifique fiable permettant de prédire le processus ou la probabilité d'une intrusion humaine involontaire. Conformément aux pratiques internationales, l'Andra devrait traiter les scénarios d'intrusion humaine séparément des autres types de scénarios, en excluant tout jugement de probabilité d'occurrence.

L'ERI considère que la méthodologie de l'Andra pour l'évaluation de la sûreté de l'exploitation est complète et systématique. Quant aux actions post-Fukushima, l'Andra a suivi les recommandations de l'ASN relatives aux tests de résistance (*stress-test*) sur les installations nucléaires pour l'intégration d'évaluations complémentaires de sûreté dans la conception du projet Cigéo. L'ERI estime que l'Andra doit considérer l'utilisation de dispositifs de filtration de l'air évacué de l'installation souterraine et évaluer la robustesse de sa conception pour l'évacuation de grandes quantités d'eau en provenance de portions de tunnels ou descenderies.

Le calendrier impliquant la préparation de la demande d'autorisation de Cigéo pour 2018 est ambitieux. Le DOS est une étape préliminaire importante avant la demande d'autorisation de création en ce qu'il fournit une base d'évaluation stratégique des aspects-clés pour le développement de Cigéo et la préparation de cette demande. L'ERI encourage, par conséquent, l'ASN, l'IRSN et l'Andra à se fonder sur la revue du dossier pour préciser les attentes relatives à la demande d'autorisation. Cette étape est d'une importance toute particulière en raison du caractère unique du projet Cigéo.

## TABLE DES MATIERES

Annexes	1
A1. Saisine ASN CODEP-DRC-2016-021886 du 2 août 2016	2
A2. Revue AIEA - Version française	28
1.1. <i>Contexte</i>	34
1.2. <i>Objectif, périmètre et organisation de la revue</i>	34
1.3. <i>Structure du rapport de la revue</i>	35
2. <i>Processus d'autorisation de Cigéo</i>	36
2.1 <i>Engagement du public</i>	36
2.2 <i>Le Dossier d'options de sûreté</i>	37
2.3 <i>Demande d'autorisation et interactions entre l'ASN et l'Andra</i>	37
2.4 <i>Interaction avec les producteurs de déchets</i>	38
3. <i>Stratégie de recherche &amp; développement et d'acquisition de connaissances</i>	39
3.1 <i>Stratégie de sûreté après fermeture de Cigéo</i>	39
3.2 <i>Approche par niveau de maturité technologique</i>	40
3.3 <i>Planification au long terme du développement incrémental du projet Cigéo</i>	41
3.4 <i>La phase industrielle pilote</i>	43
3.5 <i>Gestion des connaissances</i>	43
3.6 <i>Recherche &amp; Développement</i>	44
3.7 <i>Surveillance</i>	46
4. <i>Méthodologie D'établissement des scénarios pour la démonstration de SÛRETE</i>	48
4.1 <i>Développement des scénarios pour l'évaluation de la sûreté après fermeture</i>	48
4.2 <i>Scénario de défaut de conteneur de déchets HA</i>	50
4.2.1 <i>Défaut de fabrication</i>	50
4.2.2 <i>Activité microbienne</i>	51
4.3 <i>Scénarios d'intrusion humaine</i>	52
4.4 <i>Analyses de sensibilité et d'incertitude</i>	53
4.5 <i>Sûreté en exploitation</i>	53
5. <i>Actions post-Fukushima</i>	56

<i>Annexe 1 : cahier des charges de la revue</i>	58
<i>Annexe 2 : L'équipe de revue internationale PAR Les pairs</i>	62
<b>RÉFÉRENCES</b>	66
A3. Engagements de l'Andra (Lettre DG/17-0097 du 27 avril 2017)	68
T1. Investigations géologiques et hydrogéologiques réalisées par l'Andra entre 1994 et 2009	78
T2. Inventaire par famille élémentaire de colis	80
T3. Synthèse du nombre de colis primaires et du volume associé retenus dans l'inventaire de Cigéo selon l'état d'avancement des conditionnements	86
T4. Orientations retenues pour l'établissement des marges de l'inventaire des colis	87
T5. Marges retenues par famille élémentaire pour l'inventaire des colis de déchets	88
T6. Familles de colis primaires et caractéristiques recensées par l'Andra pour le dimensionnement de Cigéo	94
T7. Résumé des inventaires de familles de colis de déchets manquants ou incomplets	97
T8. Comparaison des activités retenues dans l'inventaire de référence du DOS et du « Dossier 2005 »	99
T9. Volume de colis correspondant aux empilements graphites d'EDF et du CEA	101
T10. Typologies de combustibles considérées dans les études d'adaptabilité du stockage aux combustibles usés	102
T11. Simulations hydrogéologiques IRSN	103
T12. Contrôles des colis prévus	105
T13. Etude thermique de la réponse d'un colis de stockage a un flux thermique enveloppant	108
T14. Colmatage des filtres en cas de feu d'enrobés bitumeux	112
T15. Situations retenues par l'Andra au stade du DOS	113
T16. Scénarios hypothétiques de retrait envisagés par l'Andra	124
T17. Simulations de la migration de radionucléides réalisées par l'IRSN	125

## 1. Introduction

### 1.1. Contexte

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) se prépare pour l'instruction de la demande d'autorisation de création du projet de stockage en couche géologique argileuse de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (Cigéo), que l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) doit soumettre en 2018.

Ce projet Cigéo sera constitué d'installations de surface utilisées notamment pour la réception et la préparation de colis de déchets, et de l'installation de stockage souterraine située à une profondeur d'environ 500 mètres, dans une formation de roche argileuse.

A la suite du débat public organisé en 2013, l'Andra a proposé la réalisation, une fois l'autorisation de création obtenue, d'une phase industrielle pilote dans le cadre du développement du projet. L'Andra a également proposé la soumission d'un « Dossier d'options de sûreté » à l'ASN avant le dépôt de la demande d'autorisation. Ce dossier représente une étape stratégique avant la demande d'autorisation de création et a pour but de présenter les principales options techniques permettant de garantir la sûreté du projet de stockage.

À la demande de l'ASN, l'intégralité du « Dossier d'options de sûreté » sera soumise à une instruction avant la demande d'autorisation par les Groupes Permanents d'Experts pour les déchets (GPD) et pour les laboratoires et usines (GPU), avec le soutien de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire).

L'ASN a demandé à ce que le dossier présente « *explicitement les objectifs, concepts et principes retenus afin de garantir la sûreté de l'installation en exploitation comme à long terme [...]. Ces demandes sont complétées [...] par une liste détaillée des éléments nécessaires pour que l'instruction du dossier d'options de sûreté puisse être valablement menée* » (lettre de l'ASN du 19 décembre 2014, réf. : CODEP-DRC-2014-039834).

En complément de son instruction, l'ASN a demandé à l'AIEA d'organiser la revue du « Dossier d'options de sûreté » par ses pairs internationaux. Le cahier des charges de la revue est fourni en annexe 1.

### 1.2. Objectif, périmètre et organisation de la revue

L'objectif de la revue par les pairs était de fournir une évaluation indépendante et internationale du « Dossier d'options de sûreté ». À cette fin, les rapports suivants ont été remis à l'équipe de revue :

- Rapport d'Options de Sûreté – Phase après-fermeture
- Rapport d'Options de Sûreté – Phase exploitation
- Projet de Plan directeur d'exploitation
- Plan de développement des composants du projet Cigéo

Les références ultérieures au « Dossier d'options de sûreté » dans ce rapport correspondent à l'ensemble de rapports cités ci-dessus.

La revue a évalué les aspects suivants :

- La stratégie de recherche & développement et d'acquisition de connaissances (démonstrateurs y compris) et son adéquation avec les étapes de développement de l'installation. La revue examine en particulier les exigences requises, au cours des différentes étapes de développement du stockage, en cohérence avec le processus d'autorisation.
- L'approche adoptée pour la définition de scénarios de sûreté au long terme, y compris les scénarios d'intrusion, les scénarios de sûreté en exploitation (excepté les actes malveillants) et le plan de surveillance en exploitation.
- Les actions post-Fukushima (par ex. : scénarios extrêmes).

La revue a été réalisée en se référant aux normes de sûreté applicables de l'AIEA, ainsi qu'aux expériences et pratiques reconnues à l'échelle internationale. Dans le présent rapport, les points soulevés par les experts sont en lien avec les normes de sûreté de l'AIEA mentionnées en italique dans le texte.

La revue a été organisée par le Département de Sûreté et Sécurité Nucléaires de l'AIEA, en coopération avec le Département de l'Énergie Nucléaire. L'équipe de revue internationale (« ERI », dans la suite du document) était composée de Felix Altorfer (Suisse), Björn Dverstorp (Suède), Klaus Fischer-Appelt (Allemagne), Jussi Heinonen (Finlande), Doug Ilett (Royaume-Uni), Timothy McCartin (USA) et Geert Volckaert (Belgique). L'équipe a reçu le soutien de deux secrétaires scientifiques de l'AIEA : Gérard Bruno de la section de Sûreté Environnementale et des Déchets, et Philippe Van Marcke, de la section de Technologie des Déchets. De brèves biographies sont incluses en annexe 2.

La revue était basée sur l'examen des rapports transmis aux experts en juillet 2016. A la suite d'une analyse préliminaire des rapports par les experts, une série de questions a été envoyée à l'Andra en octobre 2016, lesquelles ont servi de support pour les présentations et discussions qui ont eu lieu pendant la mission de revue, du 7 au 10 novembre 2016, à Paris.

Ce rapport présente le point de vue des experts, établi par consensus, sur la base de la documentation soumise par l'Andra en vue de la revue, des présentations réalisées par l'Andra au cours de la mission de revue et des discussions qui ont suivi. Les experts ont agi à titre personnel et leur avis ne reflète pas nécessairement celui de leur pays ou organisation, ni celui de l'AIEA.

La revue des pairs a été sollicitée par l'ASN. Elle s'est tenue sur la base des documents fournis par l'Andra en tant qu'agence responsable du développement du projet Cigéo et, de ce fait, de sa sûreté. En conséquence, et pour raisons pratiques, les points soulevés par la revue sont directement adressés à l'Andra. Le rapport est cependant soumis en premier lieu à l'Autorité de sûreté nucléaire, afin de lui permettre d'utiliser les résultats de la revue dans le suivi du projet de l'Andra.

### **1.3. Structure du rapport de la revue**

Au cours de la mission de revue, l'Andra a premièrement présenté l'historique et le contexte du projet Cigéo, le rôle du Dossier d'options de sûreté dans le cadre du processus d'autorisation et sa stratégie de sûreté. A la suite de cette discussion, les sujets définis dans le cahier des charges de la revue ont été abordés.

Ce rapport suit la même structure :

- Chapitre 2 : processus d'autorisation de Cigéo
- Chapitre 3 : stratégie de recherche & développement et d'acquisition de connaissances
- Chapitre 4 : Méthodologie d'établissement des scénarios pour la démonstration de sûreté
- Chapitre 5 : actions post-Fukushima

Les annexes 1 et 2 contiennent, respectivement, le cahier des charges de la revue par les pairs et de brèves biographies des membres de l'équipe de revue.

## **2. PROCESSUS D'AUTORISATION DE CIGEO**

La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs a confié à l'Andra la mission d'évaluer la faisabilité d'un centre de stockage de déchets en couche géologique profonde, en particulier par la construction de laboratoires souterrains. En 1991, l'ASN a publié une règle fondamentale de sûreté (RFS III.2.f) définissant les exigences de sûreté à long terme pour le centre de stockage, les bases de conception, les critères employés et études à mener pour la sélection d'un site, ainsi que les objectifs fondamentaux devant guider la recherche sur le stockage. En 2008, l'ASN a remplacé cette règle fondamentale de sûreté par un Guide de Sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.

Au cours des étapes d'étude des sites de stockage, de sélection d'un site et de développement du projet Cigéo, l'Andra a publié des dossiers relatifs à la sûreté et à la faisabilité afin de fournir une base de décision. Chaque itération intermédiaire associée aux diverses étapes-clés du développement du projet Cigéo a été examinée par l'ASN.

La demande d'autorisation à déposer en 2018 pour le projet Cigéo est soumise au cadre imposé par le Code de l'Environnement (article L. 542-10-1) et le décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007, elle est requise par la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006.

### **2.1 Engagement du public**

#### **Position de l'Andra**

Les étapes-clés du projet Cigéo incluent l'engagement et le dialogue avec le public. Outre les interactions avec le public et les acteurs locaux, par l'intermédiaire du Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS), par exemple, des débats nationaux ont été organisés, autour du Dossier 2005 de l'Andra en 2006 et autour du projet Cigéo en 2013.

Le débat public de 2013 a eu un effet notable sur le projet Cigéo. L'Andra a par exemple décidé d'introduire une phase industrielle pilote pour la confirmation des opérations planifiées pour le centre de stockage. L'Andra a également décidé de soumettre son Dossier d'options de sûreté à l'ASN afin de se préparer pour l'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo.

#### **Observation de l'ERI**

La décision d'introduire une phase industrielle pilote dans le projet et la préparation d'un Dossier d'options de sûreté est appréciable. Elle confirme que l'Andra a tenu compte de la

consultation publique réalisée et c'est un bon exemple de la prise en compte des attentes et propositions du public dans le cadre du programme de développement de Cigéo.

## 2.2 Le Dossier d'options de sûreté

### Position de l'Andra

La législation française stipule que toute personne qui souhaite exploiter une installation nucléaire de base a la possibilité de solliciter un avis de l'ASN sur tout ou partie des options qu'elle a retenues pour assurer la sûreté de son installation. La législation ou la réglementation ne détaille pas le contenu du Dossier d'options de sûreté préparé dans le cadre de cette sollicitation auprès de l'ASN. Selon l'Andra, et sur la base d'exemples issus d'autres installations nucléaires, le rapport présente généralement *a minima* en termes généraux les principales options de sûreté gouvernant la conception du projet, sans toutefois décrire en détail la démonstration de sûreté ou les descriptions des solutions techniques.

Compte tenu des spécificités du stockage en couche géologique profonde, l'ASN a décidé d'informer l'Andra quant à ses attentes concernant le Dossier d'options de sûreté dans sa lettre de décembre 2014 (réf. : CODEP-DRC-2014-039834). Dans cette lettre, l'ASN présente ses attentes concernant les options de sûreté du projet Cigéo. En particulier, l'ASN exprime les attentes suivantes : *« En premier lieu, ces options de sûreté doivent couvrir toute l'installation, soit les installations de surface, les installations souterraines et les liaisons surface-fond, au stade des études d'avant-projet sommaire (APS). Une attention particulière devra notamment être apportée à la complétude du dossier présenté au regard de la notion de système de stockage définie dans le guide de sûreté de l'ASN. Le dossier présenté devra être autoportant et présenter explicitement les objectifs, concepts et principes retenus afin de garantir la sûreté de l'installation en exploitation comme à long terme et ce aux différentes phases de vie de l'installation : conception, construction, fonctionnement, mise à l'arrêt définitif, démantèlement ou fermeture, entretien et surveillance, selon les sous-ensembles de l'installation concernés. Le niveau de détail présenté devra être proportionné à l'importance des risques et inconvénients associés. »*

### Observation de l'ERI

Le concept d'un Dossier d'options de sûreté est une précieuse étape préliminaire avant le dépôt d'une demande d'autorisation. Il constitue une base pour évaluer au niveau stratégique les principales options prises pour démontrer la sûreté, les principales options de conception, ainsi que la construction et l'exploitation planifiées pour l'installation. L'ERI reconnaît que le Dossier d'options de sûreté n'est pas destiné à démontrer la conformité du projet avec les exigences légales. Il contribue toutefois au dialogue entre l'Andra et l'ASN sur les aspects-clés concernant le développement du projet Cigéo et la préparation de la demande d'autorisation. Ceci est particulièrement important car l'installation prévue est unique en son genre.

## 2.3 Demande d'autorisation et interactions entre l'ASN et l'Andra

### Position de l'Andra

Au cours de la discussion ayant eu lieu dans le cadre de la revue par les pairs, l'Andra a indiqué qu'elle prévoit de développer davantage l'échange avec l'ASN à propos de la préparation de la demande d'autorisation d'ici fin 2016 ou début 2017. L'Andra a présenté le travail nécessaire à la préparation de la demande d'autorisation d'ici 2018. Ce travail implique, entre autres, la finalisation de la démonstration de sûreté, des analyses de sûreté et de sensibilité, et de la

conception détaillée de l'installation, ainsi que d'autres éléments abordés dans les sections ultérieures de ce rapport.

L'instruction du Dossier d'options de sûreté et des documents associés par l'ASN se poursuit en parallèle.

### **Observation de l'ERI**

Le calendrier pour la préparation de la demande d'autorisation de création de Cigéo pour 2018 est ambitieux. C'est une bonne pratique que le régulateur et l'exploitant entretiennent un dialogue sur les attentes pour assurer une bonne compréhension commune de ces attentes relatives au contenu de la demande d'autorisation. L'ERI encourage par conséquent l'ASN, l'IRSN et l'Andra à se fonder sur l'instruction du dossier pour définir plus précisément les exigences relatives à la demande d'autorisation.

## **2.4 Interaction avec les producteurs de déchets**

### **Position de l'Andra**

L'Andra a présenté une vaste variété de types de déchets à stocker dans Cigéo, résultant des divers programmes nucléaires français. Concernant la répartition des responsabilités, la responsabilité propre de l'Andra concerne le stockage des colis de déchets. Les producteurs de déchets sont quant à eux responsables des activités préalables au stockage.

Pour la réalisation d'un inventaire qualitatif et quantitatif pour Cigéo, une collaboration est nécessaire entre l'Andra et les producteurs de déchets, par l'intermédiaire de discussions sur les scénarios industriels d'exploitation des sites nucléaires synthétisés dans le Programme Industriel de Gestion des Déchets (PIGD). Durant les discussions de la revue, l'Andra a décrit les interactions avec les producteurs de déchets pour la compilation de l'inventaire des déchets et des types de colis.

### **Observation de l'ERI**

L'ERI comprend que l'optimisation concernant les déchets radioactifs et leurs modalités de conditionnement implique à la fois les producteurs de déchets et les spécifications d'acceptation de déchets de l'Andra. Au vu de la longue période d'exploitation du projet Cigéo, il est important pour l'Andra de s'assurer que les producteurs de déchets sont régulièrement informés des spécifications d'acceptation des déchets et que les aspects de sûreté après-fermeture sont pris en compte pour l'optimisation future des procédés de conditionnement des déchets radioactifs. En accord avec les normes de sûreté de l'AIEA (par ex. : Gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif, (GSR Part 5), Prescription 6 [1]), les liens d'interdépendance entre toutes les étapes de la gestion des déchets radioactifs, y compris leur stockage, doivent être prises en compte.

### **SUGGESTION**

L'ERI encourage l'Andra à poursuivre le renforcement du dialogue avec les producteurs de déchets et à rechercher des possibilités d'optimisation globale de la gestion des déchets avant stockage et pour leur stockage.

*Prescriptions de sûreté sur la Gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif, Prescription 6 : Liens d'interdépendance*

*« Les liens d'interdépendance qui existent entre toutes les étapes de la gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif ainsi que l'impact de l'option envisagée pour le stockage définitif sont dûment pris en compte. » [1]*

### **3. STRATEGIE DE RECHERCHE & DEVELOPPEMENT ET D'ACQUISITION DE CONNAISSANCES**

#### **3.1 Stratégie de sûreté après fermeture de Cigéo**

##### **Position de l'Andra**

Le projet Cigéo est conçu pour isoler les déchets des êtres humains et de la biosphère en les confinant dans une formation géologique profonde. Les fonctions de sûreté après fermeture s'étendent sur de très longues périodes (jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années), et ce passivement, c'est-à-dire sans besoin de maintenance ou de surveillance. Selon le Dossier d'options de sûreté, la sûreté après fermeture repose principalement sur les propriétés favorables de la formation hôte sélectionnée, étayées par les vastes connaissances acquises au cours des activités de sélection du site et par les recherches réalisées ces 25 dernières années. L'installation souterraine et les barrières ouvragées sont conçues pour limiter le relâchement de radionucléides en favorisant le chemin de migration à travers la roche argileuse.

##### **Observation de l'ERI**

Sur la base du contenu du Dossier d'options de sûreté et des discussions menées au cours de la mission de revue, l'ERI conclut qu'une confiance raisonnable peut être accordée à la robustesse du concept de stockage. Constatant que, dans de nombreux domaines de recherche, des études sont toujours en cours pour la démonstration ou la confirmation de la sûreté (par ex. : connaissance de l'argile du Callovo-Oxfordien, scellements, etc.), l'ERI a identifié quelques secteurs qui permettraient de renforcer la base de connaissances existante de l'Andra (sans ordre de priorité) :

- Production et transport de gaz ;
- Description du vieillissement des composants de l'installation de stockage au cours de la période d'exploitation, en particulier ceux des alvéoles de stockage ;
- Incertitudes liées au temps de resaturation des alvéoles de stockage et effet sur la dégradation des colis de déchets ;
- Rôle des microbes et potentielle formation de biofilms au cours de la période d'exploitation ;
- Conséquences de défaillances non détectées.

##### **SUGGESTION**

L'ERI encourage l'Andra à poursuivre ses études dans les domaines identifiés plus haut afin de renforcer la confiance existante dans le dossier de sûreté.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5),  
Prescription 13 : Portée de l'argumentaire de sûreté et de l'évaluation de la sûreté :*

« En ce qui concerne la sûreté après fermeture, il faut examiner l'éventail attendu des évolutions possibles du système de stockage définitif et des événements qui pourraient avoir des incidences sur son fonctionnement, y compris ceux de faible probabilité, dans l'argumentaire de sûreté et l'évaluation complémentaire de la sûreté comme suit :

(a) en présentant des données montrant que le système de stockage définitif, ses évolutions possibles et les événements qui pourraient avoir des incidences sur lui sont suffisamment bien compris ;

(b) en démontrant que la conception peut être mise en œuvre ;

(c) en fournissant des estimations convaincantes du fonctionnement du système de stockage définitif et un degré d'assurance raisonnable que toutes les prescriptions de sûreté pertinentes seront respectées et que la radioprotection a été optimisée ;

(d) en déterminant les incertitudes connexes et en présentant une analyse de celles-ci. » [2]

### **3.2 Approche par niveau de maturité technologique**

#### **Position de l'Andra**

Dans le rapport relatif au Plan de développement des composants du projet Cigéo (PDD), l'Andra décrit l'application de l'échelle internationale des niveaux de maturité technologique (échelle TRL, *technological readiness level*) pour la quantification de la maturité technologique d'un élément (équipement, composant, système, etc.). L'échelle TRL appliquée à l'origine à d'autres secteurs industriels, est incluse à la norme internationale ISO 16290:2013. L'utilisation de l'échelle TRL est premièrement associée au niveau de maturité de la performance des composants du système de stockage et ne constitue pas une analyse de sûreté en tant que telle. Quoique l'échelle TRL ait été précédemment appliquée à des opérations industrielles, son application au projet Cigéo implique des aspects spécifiques concernant les conditions existantes dans les installations souterraines et le développement progressif du centre de stockage.

L'Andra a défini un Système de Gestion des Exigences permettant d'organiser et d'assurer la traçabilité des exigences associées aux fonctions de sûreté (en exploitation et après fermeture). Ce système sera utilisé pour vérifier que la solution technique répond aux exigences, et donc aux fonctions de sûreté.

#### **Observation de l'ERI**

L'application de l'échelle TRL semble être un bon outil pour la gestion interne du développement des composants de l'installation de stockage, y compris pour l'interaction avec les sous-traitants. L'échelle TRL propose une vue d'ensemble structurée des différentes étapes de développement des composants individuels, ainsi que de la démonstration et de la confirmation successives de leurs performances dans l'installation de stockage. Cet aspect est particulièrement important au vu de la longue période (supérieure à 100 ans) d'exploitation et de construction progressive. Cependant, l'échelle TRL étant premièrement associée aux exigences relatives aux performances des composants individuels, elle ne peut pas se substituer aux mises à jour générales du rapport de sûreté après fermeture.

Une fois le rapport de sûreté élaboré, les bénéfices de l'échelle TRL pourront être renforcés par la clarification du lien existant entre l'échelle TRL et la sûreté après fermeture. Cela pourra par exemple être concrétisé par la description du rôle de l'échelle TRL dans les mises à jour périodiques du rapport de sûreté après fermeture.

### 3.3 Planification au long terme du développement incrémental du projet Cigéo

#### Position de l'Andra

Le Plan directeur d'exploitation (PDE) proposé décrit le déroulement de référence du projet Cigéo, c'est-à-dire l'inventaire de déchets à stocker et les étapes consécutives de construction des installations industrielles, d'exploitation et de fermeture planifiées par l'Andra, basés sur les études menées jusqu'en 2015. Il décrit également l'approche adoptée dans le cadre du projet Cigéo, en termes de réversibilité et sur toute la période d'exploitation, pour éviter de lier les générations futures aux choix de notre génération. Au contraire, cette approche a pour but de leur fournir diverses options de gestion des déchets radioactifs. Ces options peuvent être associées à de futurs développements de l'installation, à des modifications de l'inventaire, en particulier en cas de changement de politique énergétique de la France (décisions relatives au stockage du combustible usé, par exemple), ou au retrait des colis stockés. Le PDE proposé sera soumis aux parties prenantes pour consultation selon le procédé décrit dans la suite de ce rapport.

#### Observation de l'ERI

Le Dossier d'options de sûreté décrit un programme national complet et un plan au long terme crédible pour la gestion de déchets radioactifs de moyenne et haute activité à vie longue (HA et MA-VL). Ce plan au long terme, basé sur 25 années d'activité de sélection et de caractérisation de sites, ainsi que de recherche & développement dans le laboratoire de recherche souterrain de Bure, permet une adaptation successive de l'installation de stockage prenant en compte les avancées techniques et scientifiques et les confirmations liées à l'exploitation de l'installation.

L'Andra a élaboré le PDE à la suite du débat public tenu en 2014<sup>1</sup> à propos du projet Cigéo. Ce PDE décrit le déroulement de « référence » du projet tel qu'envisagé par l'Andra à la fin de la phase des études préliminaires d'ingénierie, explique les objectifs et de la phase industrielle pilote et présente les choix proposés en matière de récupérabilité pour la gestion du projet Cigéo. Selon l'Andra, ce document préfigure l'outil de gouvernance à venir, lequel sera périodiquement mis à jour, tout au long de l'exploitation de Cigéo. Cet outil pourra jouer un rôle important dans la communication et la consultation des activités futures planifiées de l'Andra, au cours du développement du projet Cigéo avec l'Autorité de sûreté, le public et les autres parties prenantes.

Les jalons et étapes-clés du développement de l'installation de stockage ont été identifiés dans le PDE, mais il demeure un certain nombre d'incertitudes quant à la nature des informations nécessaires pour passer d'une étape à la suivante, ou quant à la cohérence entre les étapes clés du processus de développement de Cigéo et le processus réglementaire d'instruction. Ces interrogations concernent par exemple la transition de la phase pilote à l'exploitation courante.

L'Andra doit clarifier le processus de mise à jour systématique de la description du site et de l'évaluation de sûreté au cours de la phase pilote puis de la construction progressive des installations souterraines. Cette description doit prendre en compte les étapes principales du développement incrémental de l'installation, les différents jalons du plan de recherche &

---

<sup>1</sup> Note de l'ASN : le débat public s'est tenu en 2013 et ses conclusions ont été rendues en 2014.

développement au long terme de l'installation de stockage de Cigéo, ainsi que les autorisations réglementaires requises.

## **BONNE PRATIQUE**

Le Plan Directeur d'Exploitation (PDE) est un outil de gestion de projet efficace pouvant jouer un rôle important dans la communication et la consultation sur les activités futures planifiées de l'Andra au cours du développement du projet Cigéo avec l'Autorité de sûreté, le public et les autres parties prenantes.

## **SUGGESTION**

L'Andra doit indiquer plus en détails la manière dont les nouvelles informations seront employées lors du passage d'une étape à la suivante, dans le cadre du développement incrémental du projet Cigéo (mentionné dans le PDE), et décrire le lien existant entre les différentes étapes du processus de développement de Cigéo, le processus réglementaire d'autorisation et les étapes-clés du plan de R&D de l'Andra.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 11 : Réalisation et évaluation par étapes des installations de stockage définitif*

*« Les installations de stockage définitif de déchets radioactifs sont réalisées, exploitées et fermées en une série d'étapes. Chacune de ces étapes est étayée, au besoin, par des évaluations itératives du site, des options possibles pour la conception, la construction, l'exploitation et la gestion, ainsi que du fonctionnement et de la sûreté du système de stockage définitif. » [2]*

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 12 : Préparation, approbation et utilisation de l'argumentaire de sûreté et de l'évaluation de la sûreté pour une installation de stockage définitif*

*« L'exploitant élabore un argumentaire de sûreté et une évaluation complémentaire de la sûreté et les actualise, s'il y a lieu, à chaque étape de la réalisation, de l'exploitation et de la fermeture d'une installation de stockage définitif. L'argumentaire de sûreté et l'évaluation complémentaire de la sûreté sont soumis à l'approbation de l'organisme de réglementation. Ils sont suffisamment détaillés et complets pour fournir les éléments techniques requis afin d'informer l'organisme de réglementation et d'étayer les décisions à prendre à chaque étape. » [2]*

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 3 : Responsabilités de l'exploitant*

*« L'exploitant d'une installation de stockage définitif de déchets radioactifs est responsable de sa sûreté. Il procède à une évaluation de la sûreté et prépare et tient à jour un argumentaire de sûreté, et il mène toutes les activités nécessaires pour la sélection et l'évaluation du site, la conception, la construction, l'exploitation, la fermeture et, si nécessaire, la surveillance après la fermeture, conformément à la stratégie nationale, dans le respect des prescriptions réglementaires et dans le cadre de l'infrastructure législative et réglementaire. » [2]*

### **3.4 La phase industrielle pilote**

#### **Position de l'Andra**

A la suite du débat public tenu en 2013<sup>2</sup> au sujet du projet Cigéo, l'Andra a introduit une phase industrielle pilote ayant pour objectifs de confirmer différents aspects de l'exploitation de l'installation de stockage et de permettre l'optimisation de ses composants et solutions de conception. Les expériences de la phase pilote seront évaluées et documentées dans un rapport destiné à servir de support au passage à l'exploitation courante.

#### **Observation de l'ERI**

Le concept d'une phase industrielle pilote bien identifiée en vue de la confirmation de différents aspects de l'exploitation et de la technologie de l'installation de stockage est louable, bien que sa portée exacte reste à déterminer. Ce concept constitue un cadre de discussion avec l'ASN et les autres parties prenantes, ainsi que pour le développement de la confiance accordée à la capacité de l'Andra à exploiter l'installation, et ce avant le passage en exploitation courante. L'inclusion des démonstrateurs inactifs pour les alvéoles de stockage et les scellements fournira par ailleurs des informations supplémentaires à exploiter dans le rapport de sûreté après fermeture (Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 11 [2]).

### **3.5 Gestion des connaissances**

#### **Position de l'Andra**

Dans son Dossier d'options de sûreté, l'Andra indique que, en raison du déploiement progressif de l'installation Cigéo et de l'acquisition continue de connaissances, le développement du projet dépassera la portée de la conception détaillée d'ingénierie actuelle et se poursuivra sur plusieurs décennies.

L'Andra dispose de plusieurs bases de données et systèmes d'informations (par ex. : science du site géologique, composants ouvragés, inventaires de radionucléides, colis de déchets, systèmes de gestion des exigences).

À la date de dépôt de la demande d'autorisation de construction, le projet de référence comprendra un ensemble complet, constitué de :

- La solution robuste et démontrée pour la phase de construction (T1) et les phases de construction ultérieures (TU) proposées à ce moment-là et proposées comme construites comme celles de la phase T1 ;
- Les modifications de conception envisagées pour les phases TU en fonction de leur date limite de développement ;
- La méthode et la planification estimée pour leur démonstration et leur intégration progressive à la construction de Cigéo.

---

<sup>2</sup> Note de l'ASN : le débat public s'est tenu en 2013 et ses conclusions ont été rendues en 2014.

À chaque étape du développement du projet, la progression de l'étude des différentes optimisations et analyses des impacts croisés, en termes de sûreté et d'exécution technique, ainsi que les défis budgétaires en jeu, seront utilisés pour définir quelle option doit être intégrée à la configuration de construction proposée et lesquelles doivent être encore étudiées simultanément, et selon quelle chronologie.

### **Observation de l'ERI**

L'ERI reconnaît l'effort de l'Andra dans la collecte et la documentation de données scientifiques ainsi que dans le processus de prise de décisions. Une immense quantité d'information sera produite et documentée au cours des périodes de construction et d'exploitation de Cigéo. Au regard des défis représentés par la conservation, sur plusieurs décennies, d'informations à jour, accessibles et compréhensibles sur le rapport de sûreté, l'Andra a besoin de développer une stratégie cohérente au long terme pour la gestion des connaissances et des informations.

### **RECOMMANDATION**

L'Andra doit développer une stratégie pour s'assurer que les données et informations importantes pour la sûreté en exploitation et après fermeture puissent être mises à jour, conservées et comprises pendant une période plus que séculaire prévue pour l'exploitation de Cigéo.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 25 : Systèmes de gestion*

*« Des systèmes de gestion prévoyant une assurance de la qualité sont appliqués à l'ensemble des activités, systèmes et composants liés à la sûreté à tous les stades de la réalisation et de l'exploitation d'une installation de stockage définitif. Pour chaque élément, le niveau d'assurance est en rapport avec son importance pour la sûreté. »*

*« Un système de gestion approprié comportant des programmes d'assurance de la qualité contribuera à convaincre qu'il est satisfait aux prescriptions et critères pertinents pour la sélection et l'évaluation du site, la conception, la construction, l'exploitation, la fermeture et la sûreté post-fermeture. Les activités, systèmes et composants pertinents doivent être déterminés sur la base des résultats d'évaluations systématiques de la sûreté. Le degré d'attention accordé à chaque aspect doit être en rapport avec son importance pour la sûreté. Le système de gestion doit être conforme aux normes de l'AIEA concernant les systèmes de gestion. » [2]*

## **3.6 Recherche & Développement**

### **Position de l'Andra**

Depuis 1991, l'Andra conduit un projet de recherche étendu comprenant une large combinaison de travaux d'étude, qu'il s'agisse de recherche en laboratoire, d'études de surface et forages sur site, de recherche au laboratoire souterrain de Bure ou du développement de modèles.

Dans le Dossier 2005, l'Andra a fourni un état de l'art global de ces activités de recherche, sur la base desquelles elle confirmait l'aptitude de l'argile du Callovo-Oxfordien (COx) en tant que roche hôte. L'instruction du Dossier 2005 a orienté les recherches ultérieures, le résultat des études géologiques suivantes, par exemple, mené à la proposition, en 2009, de la zone d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (ZIRA). Les activités continues de R&D ont conduit, en 2015, à la confirmation des propriétés favorables et de la robustesse du COx dans le Dossier d'options de sûreté.

Les plans de R&D actuellement développés pour le projet Cigéo suivent 3 orientations :

1. Compréhension des processus (THMCR) ;
2. Soutien aux phases de développement de l'installation de stockage : DAC (demande d'autorisation de création), phase industrielle pilote (T1) et phases ultérieures ;
3. Compréhension du comportement des composants de l'installation de stockage.

Il existe un processus qui définit les défis clés en matière de R&D. Les plans de R&D future sont établis et mis à jour selon un cycle bisannuel. Cela a été établi sur la base de revues et d'études de conception, entre autres facteurs. Le plan de R&D de l'Andra n'était pas inclus dans le Dossier d'options de sûreté.

### **Observation de l'ERI**

Bien que le plan de R&D n'ait pas été inclus aux documents de la revue, le processus de planification de la R&D prévu en soutien au développement de Cigéo a été étudié pendant la revue. Le processus destiné à l'identification et au classement des activités de R&D par ordre de priorité n'a pas été expliqué à l'ERI. En conséquence, les attentes de l'Andra quant aux résultats des projets de recherche, développement et démonstration (RD&D) planifiés n'ont pas toutes été claires. Les analyses de sensibilité et d'incertitude doivent être utilisées afin d'identifier ces priorités (voir section 4.4).

La stratégie de l'Andra, en matière de recherche & développement comprend un plan de R&D en soutien au développement de Cigéo. Ce plan doit être mis à jour pour établir la distinction entre la R&D à inclure dans la démonstration de sûreté (mise à jour du rapport de sûreté pour « l'autorisation de mise en service par l'ASN »), la R&D effectuée pour continuer à optimiser la conception du centre et la R&D réalisée pour le maintien des connaissances et de la compréhension du concept de stockage.

Il faut également clarifier les résultats de R&D attendus, à quelle phase du programme, et ce concernant (1) les activités de R&D terminées à la date de la demande d'autorisation, (2) les activités de R&D planifiées au cours de la phase industrielle pilote et (3) les activités de R&D planifiées pour les phases ultérieures. Pour la R&D planifiée pendant la phase pilote, la nature de la confirmation recherchée par les activités de R&D doit être précisée.

Le plan mis à jour doit également identifier les activités de R&D réalisées dans le laboratoire de Meuse/Haute Marne (LSMHM).

Selon l'ERI, le plan de R&D mis à jour doit être mis à la disposition des autorités de régulation en guise de support pour le processus réglementaire d'instruction.

### **RECOMMANDATION**

L'Andra doit clarifier son plan de R&D mis à jour en cohérence avec le développement de Cigéo en :

- identifiant les activités de R&D et les classant par ordre de priorité ;
- décrivant l'objectif des activités de R&D ;
- définissant le lien existant entre la R&D et l'étape du programme en cours.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5),  
Prescription 3 : Responsabilités de l'exploitant*

*« 3.13. L'exploitant doit exécuter ou faire exécuter les travaux de recherche-développement nécessaires pour garantir et démontrer que les opérations techniques prévues peuvent être effectuées de manière pratique et sûre. Il doit aussi exécuter ou faire exécuter les études requises pour analyser, comprendre et étayer les processus dont dépend la sûreté de l'installation de stockage définitif. Il doit en outre effectuer toutes les études nécessaires sur les sites et les matériaux, déterminer s'ils conviennent et obtenir toutes les données requises pour l'évaluation de la sûreté. » [2]*

### **3.7 Surveillance**

#### **Position de l'Andra**

Comme pour toute autre installation nucléaire de base (INB), la surveillance est une exigence légale destinée à protéger la sûreté, la santé et la sécurité publiques, ainsi que la nature et l'environnement. Certaines exigences supplémentaires, spécifiques aux installations de stockage, ont été formulées dans le cadre des exigences de surveillance pré-fermeture et de sûreté après fermeture. L'Andra a commencé à prendre en compte les spécificités de la surveillance en rapport avec la longue période d'exploitation du centre de stockage. Le PDE présente l'évolution des activités de surveillance tout au long de l'exploitation de Cigéo. L'Andra a présenté l'approche adoptée pour la surveillance au cours des différentes phases du développement du stockage, ainsi que l'évolution des besoins.

Les principes appliqués pour la surveillance au cours des phases d'exploitation et après fermeture sont donnés dans les rapports d'options de sûreté respectifs. En particulier, l'Andra a proposé les éléments importants pour la sûreté après fermeture ainsi que les paramètres de surveillance associés pendant la construction et l'exploitation. Les principes liés à la surveillance pendant la phase industrielle pilote et à la possibilité de récupération des déchets sont décrits dans des documents spécifiques. Un résumé en a été présenté.

L'acquisition et le suivi des données seront mis en œuvre au cours de l'excavation des structures afin de valider le modèle géologique et les paramètres physico-chimiques qui le composent. Le contrôle des caractéristiques importantes de la roche hôte, utilisées en référence pour l'évaluation de la sûreté de la phase après fermeture (comportement mécanique, extension, structure, perméabilité de la zone endommagée autour des structures, etc.), est intégré au programme de surveillance entrepris au démarrage de la construction des structures, au cours de la phase industrielle pilote (et poursuivi par la suite).

Dans le cadre du programme de suivi, des mesures de surveillance spéciales seront relevées sur des portions de structures souterraines (segments de rampes et de puits, portions de galeries et d'intersections, d'alvéoles de stockage de déchets HA et MA), sélectionnées pour leur représentativité d'un certain nombre de structures ou en raison de leur emplacement particulier (par ex. : au niveau d'un futur scellement), dans le respect des objectifs de sûreté en exploitation ou après fermeture.

Concernant l'étude de l'environnement, l'Andra a, par ailleurs, établi en 2007 l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) afin de fournir une description précise de l'environnement de Cigéo et de surveiller son développement sur le long terme. L'OPE a mis en œuvre un programme d'observation pluridisciplinaire (eau, air, flore, faune, présence humaine) pour une

période d'au moins 100 ans. L'Andra a présenté la surveillance de l'environnement étendue ayant déjà cours et disponible au grand public par l'intermédiaire du site de l'OPE.

### **Observation de l'ERI**

À l'heure actuelle, l'Andra exploite l'OPE et développe un programme de surveillance pour les installations souterraines. L'accès du public à ces données environnementales est cohérent avec les pratiques internationales et constitue un élément propre à donner confiance au public. L'Andra est encouragée à poursuivre cette pratique.

Les plans de surveillance de l'Andra, mis en œuvre pendant la phase d'exploitation, en matière de sûreté sur le long terme sont moins avancés. Sur la seule base de la documentation et des discussions tenues avec l'Andra, la faisabilité des activités de surveillance de la sûreté après fermeture et leur rapport avec la sûreté elle-même n'étaient pas toujours clairs.

L'Andra doit préciser l'objectif des activités de surveillance pour chacune des phases suivantes du développement du centre de stockage (par ex. : surveillance de la sûreté en exploitation *versus* performances des barrières utilisées pour la sûreté après fermeture).

### **RECOMMANDATION**

Dans le développement de son plan de surveillance mis en oeuvre au cours de la phase d'exploitation, l'Andra doit aborder :

- La relation entre les paramètres de surveillance et la sûreté après fermeture ;
- La faisabilité des activités de suivi prévues au cours de la période d'exploitation, y compris la maintenance ou le remplacement du matériel ;
- Le potentiel impact négatif sur les performances de la barrière de sûreté en phase après fermeture.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 21 : Programmes de surveillance dans une installation de stockage définitif*

*« Un programme de surveillance est exécuté avant et pendant la construction et l'exploitation d'une installation de stockage définitif et après sa fermeture, si l'argumentaire de sûreté le prévoit. Ce programme est conçu pour rassembler et actualiser les informations requises aux fins de la protection et de la sûreté. Les informations servent à confirmer les conditions nécessaires à la sûreté des travailleurs et des personnes du public et à la protection de l'environnement durant l'exploitation de l'installation. La surveillance permet aussi de confirmer l'absence de toute condition susceptible de réduire la sûreté de l'installation après la fermeture. » [2]*

## **4. METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DES SCENARIOS POUR LA DEMONSTRATION DE SÛRETE**

### **4.1 Développement des scénarios pour l'évaluation de la sûreté après fermeture**

#### **Position de l'Andra**

L'approche de l'Andra dans la définition de scénarios d'évaluation de la sûreté après fermeture, prenant en compte les incertitudes existantes, repose sur les étapes suivantes :

- Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS) : pour décrire l'évolution des processus phénoménologiques affectant les composants naturels et ouvrages concernant la sûreté en exploitation et après fermeture ;
- Analyses Qualitatives de Sûreté (AQS) : pour définir les scénarios d'évolution normale et altérée.

Ces étapes constituent la base de la conceptualisation numérique ultérieure pour les processus affectant les fonctions de sûreté et l'évaluation quantitative de la sûreté après fermeture. L'Andra utilise également le catalogue FEP de la NEA en tant qu'outil de vérification afin de s'assurer l'exhaustivité de son analyse de sûreté.

L'Andra a développé différentes catégories de scénarios :

- Les Scénarios d'Évolution Normale (SEN), décrivant l'évolution présentée par deux situations : une situation de référence basée sur les meilleures valeurs estimées et une situation limite prenant en compte une estimation prudente des valeurs de paramètres ;
- Les Scénarios d'Évolution Altérée (SEA), couvrant les scénarios les moins probables, reposant sur le dysfonctionnement de composants techniques (défauts de scellement ou de conteneur) ;
- Les Scénarios hypothétiques (« what-if »), basés sur des conjectures très improbables afin d'étudier la réaction et la robustesse du système de stockage ;
- Les Scénarios d'Intrusion Humaine.

Pour le scénario incidentel particulier identifié dans le Dossier d'options de sûreté, concernant des hétérogénéités non détectées, l'Andra a exprimé le besoin d'échanger avec l'ASN et l'IRSN pour être à même de définir les hypothèses de ce scénario.

#### **Observation de l'ERI**

D'une manière générale, l'ERI considère que le processus de gestion global mis en œuvre par l'Andra, pour la définition systématique et la recherche de scénarios de sûreté, est bon. L'ERI considère en particulier le système d'APSS (Analyse phénoménologique des situations de stockage) comme une méthode exhaustive de description des phénomènes significatifs et de leurs interactions impliquant la sûreté. Par ailleurs, le processus général de l'Andra est une partie importante de son itération de la conception de l'installation de stockage, au regard de l'objectif d'optimisation global.

L'ERI apprécie également l'utilisation de scénarios hypothétiques, en ce qu'ils permettent à l'Andra d'acquérir une bonne compréhension du comportement du système de stockage en conditions extrêmes, ainsi que d'illustrer sa robustesse.

Bien que l'Andra ait argumenté, d'après les résultats de leur étude étendue du site, que la probabilité d'apparition de discontinuités participant à l'écoulement de l'eau (fractures, par exemple) dans la ZIRA est négligeable, l'ERI suggère à l'Andra de prendre en compte la fracturation de la roche du COx dans le cadre des scénarios hypothétiques.

Le calcul de la portée des caractéristiques spatiales et hydrauliques de discontinuités favorisant l'écoulement permettrait à l'Andra d'illustrer :

- le niveau de sûreté élevé de la roche du COx contribuant de manière significative à la robustesse générale du système de stockage en phase après fermeture ;
- l'impact de ces discontinuités dans la roche du COx de la ZIRA sur la sûreté, permettant ainsi d'évaluer la robustesse du concept.

## **RECOMMANDATION**

L'Andra doit considérer des mécanismes d'écoulement des eaux au sein du COx dans le cadre de calculs de simulation hypothétiques pour renforcer la démonstration de la robustesse du système de stockage, en particulier les performances de la roche du COx en matière de sûreté.

*SSR-5, Prescription 13 : Portée de l'argumentaire de sûreté et de l'évaluation de la sûreté*

*« L'argumentaire de sûreté pour une installation de stockage définitif décrit tous les aspects du site qui sont pertinents pour la sûreté, la conception de l'installation, ainsi que les contrôles de gestion et réglementaires. L'argumentaire de sûreté et l'évaluation complémentaire de la sûreté illustrent le niveau obtenu de protection des personnes et de l'environnement et donnent à l'organisme de réglementation et aux autres parties intéressées l'assurance que les prescriptions de sûreté seront respectées.*

*4.17. En ce qui concerne la sûreté post-fermeture, il faut examiner l'éventail attendu des évolutions possibles du système de stockage définitif et des événements qui pourraient avoir des incidences sur son fonctionnement, y compris ceux de faible probabilité, dans l'argumentaire de sûreté et l'évaluation complémentaire de la sûreté comme suit :*

*(a) en présentant des données montrant que le système de stockage définitif, ses évolutions possibles et les événements qui pourraient avoir des incidences sur lui sont suffisamment bien compris ;*

*(b) en démontrant que la conception peut être mise en œuvre ;*

*(c) en fournissant des estimations convaincantes du fonctionnement du système de stockage définitif et un degré d'assurance raisonnable que toutes les prescriptions de sûreté pertinentes seront respectées et que la radioprotection a été optimisée ;*

*(d) en déterminant les incertitudes connexes et en présentant une analyse de celles-ci. » [2]*

## 4.2 Scénario de défaut de conteneur de déchets HA

### 4.2.1 Défaut de fabrication

#### Position de l'Andra

Pour le scénario d'évolution normale (SEN) de son analyse de sûreté, l'Andra suppose qu'aucun conteneur n'est défectueux au moment de la fermeture de l'installation de stockage. Cet état sera obtenu par une conception robuste et des processus de contrôle qualité destinés à éliminer tout risque de défaut au niveau des conteneurs. Pour la situation de référence et la situation limite, il est supposé que les conteneurs perdent leur étanchéité après, respectivement, 4 300 ans et 500 ans.

Un scénario d'évolution altérée (SEA) et un scénario hypothétique considèrent une perte immédiate de l'étanchéité respectivement d'un nombre limité de conteneurs de déchets HA stockés et de l'ensemble des conteneurs. Aucun des deux scénarios n'envisage un impact significatif sur les doses d'exposition pendant la période après fermeture.

#### Observation de l'ERI

En raison du grand nombre de conteneurs à stocker, il existe toujours une probabilité résiduelle de défauts de fabrication et de soudure (tout procédé industriel rencontre des déviations dans son procédé de production). Les défauts (avec et/ou sans pénétration) risquent de mener à une défaillance précoce des conteneurs. En raison des performances de la formation géologique de Cigéo, l'ERI reconnaît qu'il n'est pas prévu qu'un relâchement précoce du contenu des colis de déchets HA, après la fermeture de l'installation de stockage, cause un impact significatif sur les doses d'exposition. Toutefois, l'ERI suggère à l'Andra de clarifier le raisonnement menant à exclure la possibilité que l'un des conteneurs de déchets HA perde son contenu plus tôt que prévu, au cours de la période après fermeture.

#### RECOMMANDATION

L'Andra doit justifier les raisons qui font qu'il n'est pas nécessaire d'inclure, dans le scénario d'évolution normale, un conteneur HA initialement défectueux ou un conteneur HA prématurément défaillant.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 7 : Fonctions de sûreté multiples et Guide de sûreté relatif aux centres de stockage géologique des déchets radioactifs (SSG-14)*

*« 4.16. Les performances d'un système de stockage géologique dépendent des différents composants physiques et d'autres caractéristiques présentant des fonctions de sûreté dont l'importance peut varier au cours du temps. Afin de répondre aux exigences de plusieurs fonctions de sûreté, il est nécessaire que l'argumentaire de sûreté explique et justifie les fonctions fournies par chacun des composants physiques et autres caractéristiques, et indique leurs durées de fonctionnement attendues. Il est également nécessaire que l'argumentaire de sûreté identifie les fonctions de sûreté supplémentaires activées en cas de dysfonctionnement d'un composant physique ou d'une autre fonction de sûreté. »[2]. [3]*

#### 4.2.2 *Activité microbienne*

##### **Position de l'Andra**

Dans son Dossier d'options de sûreté, l'Andra indique que la taille des pores de la roche du COx sain ou des noyaux de scellement à base d'argile n'offrent pas l'espace, la quantité d'eau libre et les nutriments nécessaires à une prolifération bactérienne significative. À l'intérieur des matériaux à base de ciment, l'activité microbienne n'est pas considérée comme probable, en particulier au niveau des interfaces et/ou fractures. Dans la zone de fracturation connectée de la roche, l'apparition d'activité microbienne dépend de la taille des fractures. Tout développement d'activité microbienne serait limité par les conditions de diffusion et la taille des pores. La possibilité de migration peut uniquement être envisagée dans un support présentant une porosité élevée et sous l'effet de conditions de transport par convection.

##### **Observation de l'ERI**

L'ERI a constaté que les scénarios n'ont pris en compte aucun effet dû à une quelconque activité microbienne dans les composants en béton, la roche argileuse saine ou les noyaux de scellement en argile. L'activité microbienne présente au niveau des interfaces (chemisage/argile, par exemple) dans la zone d'excavation perturbée ou au niveau de matériaux cimentaires est susceptible d'accélérer la corrosion des pièces métalliques de l'installation de stockage. Une corrosion accélérée, et donc une perte précoce de la fonction de protection du chemisage, risque alors de conduire à l'accélération de la corrosion des conteneurs de déchets HA. L'activité microbienne peut impacter la structure des alvéoles de déchets HA.

##### **RECOMMANDATION**

L'Andra doit inclure, dans son rapport de sûreté et sa démonstration de sûreté, l'activité microbienne présente au niveau de l'interface entre le chemisage et le matériau de remblai, étayé, si nécessaire, par la recherche sur cette activité.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 7 : Fonctions de sûreté multiples, et Prescription 3 : Responsabilités de l'exploitant et Guide de sûreté relatif aux centres de stockage géologique des déchets radioactifs (SSG-14)*

*« L'exploitant d'une installation de stockage définitif de déchets radioactifs est responsable de sa sûreté. Il procède à une évaluation de la sûreté et prépare et tient à jour un argumentaire de sûreté, et il mène toutes les activités nécessaires pour la sélection et l'évaluation du site, la conception, la construction, l'exploitation, la fermeture et, si nécessaire, la surveillance après la fermeture, conformément à la stratégie nationale, dans le respect des prescriptions réglementaires et dans le cadre de l'infrastructure législative et réglementaire.*

*3.13. L'exploitant doit exécuter ou faire exécuter les travaux de recherche-développement nécessaires pour garantir et démontrer que les opérations techniques prévues peuvent être effectuées de manière pratique et sûre. Il doit aussi exécuter ou faire exécuter les études requises pour analyser, comprendre et étayer les processus dont dépend la sûreté de l'installation de stockage définitif. Il doit en outre effectuer toutes les études nécessaires sur les sites et les matériaux, déterminer s'ils conviennent et obtenir toutes les données requises pour l'évaluation de la sûreté. » [2], [3]*

### 4.3 Scénarios d'intrusion humaine

#### Position de l'Andra

En raison du contexte géologique de la zone d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (ZIRA) et de la profondeur du centre de stockage, l'Andra considère le forage depuis la surface comme la seule option possible d'intrusion humaine (IH) accidentelle. Les 6 scénarios de forage considérés ont été déclinés à partir de trois aspects :

- L'objectif du forage et la formation géologique ciblée : la profondeur ciblée et le diamètre de forage sont déterminés par l'objectif technique du forage et la formation géologique ciblée.
- L'emplacement du forage : les conséquences possibles, en matière de détérioration de la fonction de l'installation de stockage et de modification des conditions de migration des radionucléides et toxiques chimiques, sont déterminées par l'emplacement du forage par rapport à l'architecture de l'installation (alvéoles de stockage et autres structures) et en tenant compte du contexte hydrogéologique.
- L'aspect temporel : les interactions possibles entre le forage et l'installation de stockage, ainsi que les niveaux d'activité des radionucléides éventuellement mobilisés, sont déterminés par les phases d'activité du forage (creusement, exploitation, fin d'exploitation), ainsi que par la situation de resaturation et d'évolution des composants de l'installation de stockage.

En fonction d'un risque d'occurrence estimé, l'Andra inclut 4 scénarios d'IH dans le groupe des SEA. Les deux scénarios d'IH considérés comme « très peu probables », tendant à maximiser les impacts, sont affectés au groupe des scénarios hypothétiques (forage intrusif avec estimation prudente des caractéristiques, position du forage dans les zones de forte activité des sections de déchets MA et HA).

#### Observation de l'ERI

D'une manière générale, l'Andra a étudié les scénarios d'intrusion humaine en profondeur. L'analyse de l'objectif, de l'emplacement et de l'influence de la profondeur des forages a été réalisée en conformité avec les prescriptions fournies par l'ASN, dans son « Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde ».

Il est reconnu à l'échelle internationale qu'il n'existe aucune base scientifique fiable permettant de prédire le processus ou la probabilité d'une intrusion humaine accidentelle. La prédiction portant sur les besoins en ressources et capacités techniques des générations futures étant spéculative, les scénarios d'intrusion humaine ne peuvent, par nature, être classés par ordre de probabilité d'occurrence. L'impossibilité d'éliminer entièrement le risque d'une IH a, en outre, été prise en compte. Le risque d'IH est une conséquence immédiate du principe de concentration et confinement.

#### RECOMMANDATION

Conformément aux pratiques internationales, l'Andra doit traiter les scénarios d'intrusion humaine séparément des autres types de scénarios, en excluant tout jugement de probabilité d'occurrence.

*Prescriptions de sûreté relatives au Stockage définitif des déchets radioactifs (SSR-5), Prescription 4 : Importance de la sûreté dans la réalisation et l'exploitation d'une installation de stockage définitif*

*« Tout au long de la réalisation et de l'exploitation d'une installation de stockage définitif de déchets radioactifs, l'exploitant veille à comprendre la pertinence et les incidences pour la sûreté des options disponibles. L'objectif est d'assurer un niveau optimisé de sûreté pendant l'exploitation et après la fermeture. »*

*« 3.20. Il faut envisager d'implanter l'installation à l'écart d'importantes ressources minérales connues, d'eaux géothermiques et d'autres ressources souterraines précieuses de manière à réduire le risque d'intrusion humaine dans le site et celui d'un conflit entre utilisation de la zone environnante et l'installation. La sûreté de l'installation doit être prise en compte à chaque étape du processus décisionnel afin que la sûreté soit optimisée au sens de l'appendice. » [2]*

*Appendice A.6 du SSR-5 :*

*« Il est possible qu'à l'avenir des personnes entreprennent des activités susceptibles de causer une intrusion quelconque dans une installation de stockage définitif de déchets radioactifs. On ne peut pas dire avec certitude quelle forme une telle intrusion prendra ni quelle sera sa probabilité, du fait de l'imprévisibilité du comportement des personnes à l'avenir. [...] » [2]*

#### **4.4 Analyses de sensibilité et d'incertitude**

##### **Position de l'Andra**

L'Andra quantifie l'incertitude des indicateurs de ses évaluations de performances et de sûreté (analyse d'incertitude) ainsi que la pondération de ces incertitudes (analyse de sensibilité) à l'aide d'un vaste panel d'outils et techniques modernes. L'investigation des modèles et situations des scénarios est traitée par le moyen d'approches déterministes et stochastiques, alors que les données d'entrée sont analysées à l'aide de méthodes probabilistes et déterministes à un ou plusieurs paramètres. Les corrélations et contraintes entre les données d'entrée sont identifiées.

Sur un plan conceptuel supérieur, l'Andra utilise l'évaluation des performances pour étudier l'influence de facteurs tels que l'emplacement de l'inventaire, la charge thermique, la présence d'éléments organiques et la géométrie des galeries, sur les performances du système de stockage, afin d'optimiser sa conception.

##### **Observation de l'ERI**

Au cours de sa discussion avec l'ERI, l'Andra a montré l'application d'une approche systématique et conforme à l'état de l'art pour les analyses de sensibilité et d'incertitude. Cependant, le processus d'exploitation des résultats de ces analyses pour la définition de priorités et l'orientation de son programme de R&D n'est pas clair (voir aussi section 3.6).

#### **4.5 Sûreté en exploitation**

##### **Position de l'Andra**

Le Dossier d'options de sûreté décrit trois principes primaires pour la conception de l'installation de stockage considérant les caractéristiques spécifiques d'une telle installation :

1. Un centre de stockage souterrain, situé à une profondeur d'environ 500 m, de géométrie réduite et composé de longues galeries de connexion, requiert des conditions d'exploitation, d'intervention et d'évacuation particulières.
2. Une phase d'exploitation durant une centaine d'année, avec développement de l'installation de stockage par étapes successives, implique un besoin de prise en compte des risques associés à la réalisation en parallèle d'opérations de construction d'ouvrages souterrains et d'opérations nucléaires.
3. Une approche coordonnée incluant une sûreté en exploitation et après fermeture qui permette l'intégration d'ajustements de conception, tout en garantissant la sûreté après fermeture tout au long du cycle de développement du projet Cigéo.

L'Andra considère qu'une telle approche, associant sûreté en exploitation et sûreté après fermeture, permet une gestion efficace de l'optimisation et des retours obtenus en exploitation, intégrant les éventuels changements dans la réglementation et les pratiques nationales et internationales tout en assurant la mise en œuvre du principe de défense en profondeur. Il sera ainsi possible de confirmer la possibilité d'intégrer de nouvelles solutions techniques dans la conception de l'installation de stockage, sur la base d'une analyse destinée à déterminer leur compatibilité avec la sûreté en exploitation et leur conformité aux exigences de sûreté après fermeture.

Dans son dossier, l'Andra a expliqué que son objectif, tout au long de la période d'exploitation, est de protéger les personnes (membres du personnel et population) et l'environnement au moyen d'une gestion efficace des risques résultant de la radioactivité des déchets. La gestion des risques est réalisée par l'intégration de fonctions de sûreté nucléaire dans la conception de l'installation pour :

1. Le confinement des matières radioactives afin d'éviter le risque de dispersion ;
2. La protection de la population contre l'exposition aux rayonnements ionisants ;
3. La prévention des situations critiques ;
4. L'évacuation de la chaleur produite par les déchets ;
5. L'évacuation des gaz formés par radiolyse en prévention des risques d'explosion.

### **Observation de l'ERI**

Les observations suivantes sont basées sur la documentation et les informations fournies par l'Andra. L'ERI a concentré sa revue sur la méthodologie employée pour définir les scénarios à considérer pour la démonstration de la sûreté. L'Andra a décrit son approche concernant les installations de surface et souterraines et a accordé, à juste titre, une plus grande attention aux défis particuliers associés à la maîtrise des risques en exploitation en milieu souterrain (risques d'incendie, évacuation depuis une section souterraine). L'ERI considère que la méthodologie de l'Andra pour l'évaluation de la sûreté de l'exploitation est complète et systématique. Les informations présentées par l'Andra dans le Dossier d'options de sûreté couvrent un vaste éventail de dangers et risques internes et externes pour les installations de surface et souterraines. L'Andra a également pris en compte les opérations de retrait de colis et activités de fermeture dans son évaluation des risques pour la population et le personnel. L'ERI apprécie le fait que l'Andra prenne en compte à la fois les combinaisons d'événements et les risques associés à une activité concomitante, résultant de l'exécution simultanée ou successive d'opérations dans la même zone géographique, ou requérant des sources d'approvisionnement ou services identiques (certaines opérations et interférences entre ces opérations sont susceptibles de transférer les risques d'une zone ou d'une activité à l'autre).

L'Andra a souligné ses préoccupations concernant le risque d'incendie en zone souterraine et a, en conséquence, fourni des informations importantes sur les mesures de prévention et de protection requises pour réduire les risques identifiés. Les discussions ont abordé les sujets des systèmes de ventilation et de filtration destinés aux alvéoles de stockage des déchets MA (par ex. : fonctions redondantes d'approvisionnement en air et d'évacuation, capteurs en sortie d'alvéole de déchets MA, possibilité de basculer l'approvisionnement vers des générateurs de secours situés en surface), des principes de fonctionnement de systèmes simples et robustes pour la ventilation des galeries souterraines (par ex. : limitation des actions et modifications nécessaires en cas de passage d'un mode de ventilation en conditions nominales à un mode en situation d'incendie), de la conception des alvéoles de stockage et du système de ventilation pour résister aux risques potentiels (en particulier : collisions, séismes, élévations de température, etc.) et de la présence de cellules de filtration (dernier niveau de filtration – DNF -des alvéoles) contenant les caissons de filtration des alvéoles de stockage. Cependant, le dossier ne décrit aucun scénario impliquant la fermeture des portes du mauvais compartiment ou l'activation d'un mauvais protocole de ventilation. Un tel scénario peut se produire à la suite d'une erreur humaine et l'examen de ses effets peut fournir des informations utiles quant à la robustesse du système.

Au vu de l'avancement actuel de la conception, l'ERI considère que l'Andra a accordé une attention significative et appropriée à l'évacuation du personnel des sections souterraines. En particulier, l'Andra a décrit, dans son dossier, l'approche employée pour l'évacuation d'un grand nombre de personnes (personnel de construction) se trouvant dans l'installation souterraine en comparaison avec les itinéraires d'évacuation vers la surface (combinaison d'abris disponibles et d'évacuation organisée et accompagnée), ainsi que l'évacuation en cas d'incendie (chaque zone dispose de son propre itinéraire d'évacuation du personnel mais, en cas d'incendie, il est possible de faire évacuer le personnel depuis la zone d'exploitation *via* la zone de construction, et vice versa).

L'ERI a été impressionnée par l'approche adoptée par l'Andra pour documenter le retour d'expérience d'autres accidents ayant eu lieu en zones souterraines (tunnels, mines), en vue de fournir un guide des bonnes pratiques à respecter lors des étapes futures de construction et d'exploitation de Cigéo et, plus spécifiquement, vis-à-vis de l'infrastructure souterraine : liaisons surface-souterrain, y compris rampe de descente des colis de déchets, rampe de service, puits et installations souterraines. L'ERI comprend que, à ce stade de la conception, les analyses de risques se poursuivent et que l'Andra utilisera les résultats obtenus pour la conception détaillée.

L'Andra a présenté son approche pour estimer l'exposition de la population à la radioactivité et a fait part de son intention d'utiliser les mêmes hypothèses, s'il y a lieu, pour estimer l'exposition du personnel. L'ERI a observé que certaines suppositions prudentes (par ex. : relâchement de radionucléides provenant des conteneurs de déchets), utilisées pour estimer l'exposition de la population, peuvent s'avérer excessivement prudentes pour estimer l'exposition du personnel, en raison de la proximité du personnel avec le relâchement potentiel. Les estimations portant sur l'exposition du personnel nécessiteraient ainsi l'utilisation d'hypothèses plus réalistes.

## **SUGGESTION**

L'Andra doit considérer l'utilisation d'un système de filtration pour l'air évacué des installations souterraines, en tant que mesure de défense en profondeur pour la limitation de rejets radioactifs en cas d'incident ou accident.

*Évaluation de la sûreté des installations et activités (PGS Partie 4, rév. 1), Prescription 10 :  
Évaluation des aspects techniques*

« Pendant l'évaluation de la sûreté, il convient de déterminer si une installation ou une activité recourt, dans la mesure du possible, à des structures, systèmes et composants de conception robuste et éprouvée. » [4]

## **5. ACTIONS POST-FUKUSHIMA**

### **Position de l'Andra**

Le Dossier d'options de sûreté décrit l'approche de l'Andra quant aux évaluations complémentaires de sûreté (ECS), également appelées « stress tests ». Les ECS permettent d'estimer les marges de sûreté des installations nucléaires vis-à-vis de phénomènes naturels extrêmes et d'éprouver, dans les installations, les fonctions de sûreté susceptibles de causer les situations redoutées. En particulier, le dossier indique que « l'objectif des *stress tests* consiste à évaluer la robustesse de l'installation à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima, à savoir des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve la sûreté des installations. »

Par exemple, le dossier décrit le risque d'explosion dans les alvéoles de déchets MA résultant des conséquences d'un séisme de plus grande intensité que le séisme majoré de sécurité ou une coupure de courant électrique de longue durée, et décrit les dispositions prévues pour un tel scénario (par ex. : stabilité accrue des galeries de retour d'air pour prévenir l'obstruction de la circulation de renouvellement d'air dans les cellules ; présence d'une installation d'alimentation électrique d'ultime secours et déploiement sur site d'une équipe d'intervention entraînée et capable de mettre en oeuvre l'alimentation d'urgence plus rapidement que le temps d'atteinte de la limite inférieure d'explosivité dans une alvéole de stockage de déchets MA).

### **Observation de l'ERI**

L'Andra s'est basée sur les spécifications des « stress tests » sur les installations nucléaires définies par l'ASN, à la suite de l'accident de Fukushima, en tant que lignes directrices pour l'intégration d'évaluations complémentaires de sûreté dans la conception de Cigéo. Dans ses discussions avec l'Andra, l'ERI a constaté que l'Andra a considéré un éventail approprié d'événements naturels (tornades, activité sismique, etc.) dans la conception des installations, afin d'assurer leur résistance aux phénomènes extrêmes (événement sismique d'une amplitude 1,5 fois supérieure à l'activité vraisemblable de la région). De plus, le dossier de sûreté étudie également les types de conditions d'accident susceptibles de conduire à des conditions extrêmes, évaluées dans le cadre de l'avant-projet détaillé (APD), afin d'assurer la robustesse de l'installation de stockage. En particulier, l'Andra a étudié les risques d'incendie, d'explosion et de chute de conteneurs résultant d'un événement sismique de grande amplitude, ainsi que la perte complète d'alimentation électrique sur le site.

L'ERI approuve l'utilisation des ECS par l'Andra pour identifier les fonctions et systèmes/équipements principaux affectés par les phénomènes extrêmes et améliorer, si nécessaire, les fonctions de protection de la sûreté dans le cadre de l'APD.

## SUGGESTION

L'Andra devrait évaluer la robustesse de sa conception pour l'évacuation de grandes quantités d'eau depuis les portions de puits et rampes traversant l'aquifère supérieur combinée à une coupure de l'alimentation électrique des pompes en raison d'un phénomène extrême.

*Évaluation de la sûreté des installations et activités (PGS Partie 4, rév. 1), Prescription 10 :  
Évaluation des aspects techniques*

*« Pendant l'évaluation de la sûreté, il convient de déterminer si une installation ou une activité recourt, dans la mesure du possible, à des structures, systèmes et composants de conception robuste et éprouvée. » [4]*

## **ANNEXE 1 : CAHIER DES CHARGES DE LA REVUE**

### **1. Introduction**

En vue de la demande d'autorisation de création à soumettre en 2018, pour la création du centre de stockage géologique de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue en France, l'Andra soumettra à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), début 2016, un « Dossier d'options de sûreté » (DOS), présentant les principales options techniques destinées à garantir la sûreté du projet de stockage.

L'intégralité du « Dossier d'options de sûreté » sera soumise à instruction par l'ASN, avec le soutien de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), et des Groupes permanents d'experts pour les « Déchets » et pour les « Laboratoires et usines ».

En complément à l'instruction par l'ASN, et conformément aux recommandations figurant dans le plan d'action de l'AIEA sur la sûreté nucléaire, lequel encourage les états membres à accueillir régulièrement, et sur la base du volontariat, des revues par les pairs de l'AIEA incluant des revues de suivi, l'Autorité de sûreté nucléaire a demandé à l'AIEA d'organiser en 2016 une revue internationale par ses pairs portant sur certains éléments du « Dossier d'options de sûreté ».

### **2. Objectif**

Réalisée sur la base des exigences stipulées dans les normes de sûreté de l'AIEA, la revue des pairs permettra de fournir une évaluation internationale et indépendante du « Dossier d'options de sûreté » (DOS) soumis par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) à l'Autorité de sûreté Nucléaire (ASN).

La revue, organisée par le Département de Sûreté et Sécurité Nucléaires de l'AIEA, en coopération avec le Département de l'Énergie Nucléaire, sera réalisée sur la base des normes de sûreté applicables de l'AIEA et des pratiques et expériences reconnues à l'international, ainsi que de l'expertise combinée de l'équipe de pairs internationaux.

### **3. Portée**

La revue par les pairs évaluera les aspects suivants du « Dossier d'options de sûreté » :

- La stratégie de recherche & développement et d'acquisition de connaissances (démonstrateurs y compris) et son adéquation avec les étapes de développement de l'installation. La revue examine en particulier les exigences requises au cours des différentes étapes de développement du stockage, en cohérence avec le processus d'autorisation.
- L'approche adoptée pour la définition de scénarios de sûreté sur le long terme, y compris les scénarios d'intrusion, les scénarios de sûreté en exploitation (excepté les actes malveillants) et le plan de surveillance en exploitation.
- Les actions post-Fukushima (par ex. : scénarios extrêmes). Ce point sera abordé sous la forme d'une discussion.

### **4. Base de la revue**

Comme indiqué précédemment, la revue sera réalisée en se référant aux normes de sûreté applicables de l'AIEA, ainsi qu'aux expériences et pratiques reconnues à l'échelle internationale.

La revue porte sur le « Dossier d'Options de Sûreté » constitué par l'Andra. Selon l'Andra, le calendrier de soumission du dossier à l'ASN et la documentation destinée à la revue par les pairs sont les suivants :

- Date de soumission du DOS à l'ASN : avril 2016
- Traduction en anglais des documents pour la revue par les pairs : 2 mois

Une liste non exhaustive des références utilisées pour la revue est fournie en section 9, ci-dessous.

## **5. Modus operandi**

La langue de travail utilisée pour la mission sera l'anglais.

Sur la base du calendrier de soumission de la documentation indiqué en section 4, la revue par les pairs est planifiée selon le calendrier suivant :

- Réception des documents en anglais : juillet 2016
- Analyse préliminaire par les experts : juillet-août 2016
- Questions à l'équipe interlocutrice : septembre 2016
- Mission de revue par les pairs : 10 jours
  - Arrivée le dimanche, réunion
  - Travail de revue du lundi au vendredi : échanges avec l'équipe interlocutrice sur la base de l'analyse préliminaire et réalisation d'une esquisse de recommandations et suggestions
  - Samedi-dimanche : réalisation de l'esquisse du rapport
  - Lundi : soumission de l'esquisse du rapport/des recommandations, vérification des faits et discussions
  - Mardi : livraison officielle

## **6. Revue internationale des pairs**

L'AIEA constituera une équipe d'experts internationaux pour l'exécution de la revue par les pairs selon le cahier des charges approuvé. L'équipe sera constituée de 7 experts internationaux, qualifiés et reconnus, membres d'autorités de régulation et d'organisations de support technique, et expérimentés dans les domaines de la sûreté du stockage de déchets radioactifs et de la radioprotection, ainsi que de 2 membres de l'AIEA, l'un, membre de la section de Sûreté Environnementale et des Déchets (Département de Sûreté et Sécurité Nucléaires), l'autre, membre de la section de Technologie des Déchets (Département de l'Énergie Nucléaire). Un président dirigera l'équipe des pairs chargée de la revue. L'AIEA informera la France de manière formelle concernant la composition de l'équipe de revue proposée avant l'exécution de la mission.

## 7. Rapport

Les sujets identifiés par la revue par les pairs seront documentés dans un rapport final reprenant la procédure, les recommandations et les suggestions proposées. Le rapport traduira l'opinion collective des membres de l'équipe, sans refléter nécessairement les positions de leurs organisations, de leurs pays d'origine respectifs ou de l'AIEA.

Le rapport de la revue par les pairs sera soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire en vue d'une vérification des faits uniquement, avant sa finalisation.

Conformément aux discussions préliminaires, l'Autorité de sûreté nucléaire a indiqué son intention de publier le rapport final de la revue par les pairs. Une communication sur l'organisation et les résultats de la revue est prévue.

## 8. Financement de la revue des pairs

Les activités associées à la revue des pairs seront financées par la France. Les frais de la prestation seront limités aux frais de voyage, aux frais *per diem* de l'équipe de revue (experts externes et membres de l'AIEA) et, pour les experts externes, et aux honoraires des experts externes conformément au Règlement financier et aux règles de gestion financière de l'AIEA. Une provision correspondant à 10 jours de travail à domicile pour la revue préliminaire de la documentation par les experts sera également inclus au montant total.

Les coûts associés à la publication officielle du rapport final de la revue par les pairs (voir section 7, ci-dessus), seront également couverts par la France.

## 9. Documentation de référence pour l'équipe de revue

Les normes de sûreté de l'AIEA suivantes, entre autres, serviront de cadre de référence principal pour l'évaluation :

- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Principes fondamentaux de sûreté, Collection Normes de sûreté de l'AIEA, n° SF-1, Vienne, (2006)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Radioprotection et sûreté des sources de rayonnement : normes fondamentales internationales de sûreté - Prescriptions générales de sûreté Partie 3 (version provisoire), Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GSR Partie 3, AIEA, Vienne, (2011)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE Évaluation de la sûreté des installations et activités, Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GSR Partie 4, Vienne, (2009)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Stockage définitif des déchets radioactifs, Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° SSR-5, AIEA, Vienne (2011)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Classification of Radioactive Waste (en anglais), Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GSG-1, AIEA, Vienne (2009)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Safety Guide (en anglais) (DS 355 en cours de publication – publication prévue sous le numéro SSG-23)

- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Système de gestion des installations et des activités, Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GS-R-3, AIEA, Vienne (2006)
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste (en anglais), GSG-3.4, AIEA, Vienne (2008)

## **ANNEXE 2 : L'EQUIPE DE REVUE INTERNATIONALE PAR LES PAIRS**

### **Felix Altorfer (Suisse)**

Felix Altorfer a étudié la physique à l'ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) de Zurich, et a obtenu son doctorat en 1994 au LNS (Laboratory for Neutron Scattering) de l'ETH de Zurich. Après quatre ans de travail au Centre de Recherche sur les Neutrons du NIST (National Institute of Standards and Technology), aux États-Unis, il retourne en Suisse pour entreprendre des travaux de recherche à la Swiss Spallation Neutron Source (SINQ) de l'institut Paul Scherrer à Villingen.

En 2002, Felix Altorfer rejoint l'IFSN, où il travaille en tant que modélisateur dans la section Stockage Géologique. En 2009, il devient Directeur de la section Stockage Géologique et Analyses. Il concentre alors son travail sur les calculs de sûreté pour l'évaluation de démonstrations de gestion des déchets radioactifs dans la région du Weinland (Zurich), ainsi que sur des contributions à l'évaluation du choix de sites en connexion avec le plan sectoriel des dépôts en couches géologiques profondes. Son travail portera également sur les principes de conception spécifiques pour les dépôts en couches géologiques profondes, ainsi que sur les exigences relatives aux démonstrations de sûreté.

En 2010, il devient Directeur de la division Gestion des Déchets. Le 1<sup>er</sup> août 2012, il est nommé Directeur de l'État-Major de Direction, composé des entités Droit, Affaires internationales et Communication.

### **Björn Dverstorp (Suède)**

Björn Dverstorp occupe, depuis 2013, le poste de Conseiller Senior pour le stockage géologique à l'Office des Relations Internationales de l'Autorité Suédoise de Sûreté Nucléaire (SSM). Il jouit d'une expérience de plus de 25 ans avec les autorités de sûreté suédoises dans la revue et la recherche réglementaire relatives au stockage de déchets radioactifs et à l'évaluation de la sûreté post-fermeture. Directeur d'un projet d'évaluation réglementaire majeur (SKI SITE-94), il a également piloté des revues de régulation dans le cadre de plusieurs évaluations post-fermeture de projets de stockage de combustible usé, ainsi qu'une revue majeure portant sur le centre de stockage SFR pour les déchets de faible et moyenne activité. Il a été responsable du développement du plan de revue de sûreté post-fermeture pour la demande d'autorisation industrielle d'un dépôt de combustible nucléaire usé en Suède et a dirigé la revue initiale du rapport de sûreté post-fermeture. Il a dirigé le développement de la réglementation de portant sur la sûreté post-fermeture au SKI (inspectat suédois de l'énergie nucléaire) et au sein de l'Autorité Suédoise de Sûreté Nucléaire. Depuis 2013, il représente la Suède à la Convention Commune. En 2015 et 2016, il a tenu un poste de responsable dans un projet de coopération avec le gouvernement de Géorgie destiné au développement d'une stratégie nationale pour la gestion de tous les déchets radioactifs. Son parcours académique inclut un Master en Sciences Géologiques et une thèse sur la modélisation des flux et du transport dans les roches cristallines.

### **Klaus Fischer-Appelt (Allemagne)**

Klaus Fischer-Appelt travaille depuis plus de 20 ans dans le domaine du stockage des déchets radioactifs. En 1994, il rejoint le GRS, organisme allemand pour la sûreté des réacteurs nucléaires et la gestion des déchets nucléaires. Il dispose d'un doctorat en sciences naturelles. Géologue de profession, il est expert en analyse et évaluation de la sûreté post-fermeture pour les centres de stockage géologique. Depuis 2009, il dirige le département de stockage définitif de la division de radioprotection et protection de l'environnement du GRS. Il est membre de

l'ESK (Commission Allemande de Gestion des Déchets Nucléaires), organisme consultatif pour les affaires relatives à la gestion des déchets nucléaires auprès du Ministère de l'environnement, la protection de la nature, la construction et la sûreté nucléaire (BMUB).

### **Jussi Heinonen (Finlande)**

M. Heinonen a rejoint la STUK (Autorité Finlandaise de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) en septembre 2002. Début 2016, il a été nommé directeur responsable de la réglementation relative aux matériaux et déchets nucléaires. Avant son poste actuel, M. Heinonen occupait depuis 2009 le poste de Responsable de la Réglementation relative aux Centres de Gestion des Déchets Nucléaires, organisme chargé de la supervision réglementaire de la conception, la construction et l'exploitation des centres de gestion des déchets nucléaires en Finlande. Il est étroitement impliqué dans la supervision réglementaire du stockage de combustible nucléaire usé. Après avoir rejoint la STUK, M. Heinonen a occupé le poste de responsable de la supervision des conteneurs de stockage et des systèmes de barrières ouvragées. Il a par la suite été responsable de la supervision de la construction de l'installation de caractérisation des roches souterraines (Onkalo URCF), de l'extension du centre de stockage provisoire de combustible usé d'Olkiluoto et de la préparation de la revue de la demande d'autorisation de construction de Posiva. M. Heinonen a participé à des missions et projets de gestion de déchets de l'AIEA. Il est membre du groupe de travail ENSREG sur la désaffectation et la gestion de déchets nucléaires.

### **Doug Ilett (Royaume-Uni)**

Doug Ilett travaille depuis plus de 20 ans dans le domaine des déchets radioactifs. Après un doctorat en chimie, il a travaillé pour le compte d'AEA Technology puis de Serco Assurance sur le site nucléaire de Harwell, au Royaume-Uni, où son travail a porté sur un certain nombre de projets relatifs aux déchets nucléaires et au stockage en couches géologiques dans le cadre de programmes britanniques et internationaux. Affecté au Nirex en 2002, il a contribué pendant un an au programme de l'organisation dans la prestation de conseils avant stockage définitif en couche géologique auprès de l'industrie nucléaire britannique. En 2003, il rejoint l'unité de régulation des substances radioactives de l'Agence pour l'Environnement anglaise. Depuis 2007, il dirige l'équipe d'évaluation des déchets nucléaires de l'Agence pour l'Environnement, équipe chargée des activités relatives au stockage et avant stockage associées à tous types de centre de stockage de déchets radioactifs, notamment l'examen du programme de développement du stockage géologique au Royaume-Uni. Doug a récemment été membre, pendant 6 ans, du comité directeur du Groupe d'Intégration pour le Dossier de Sûreté (IGSC) de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE. Il détient par ailleurs d'un diplôme en Gestion Appliquée.

### **Timothy McCartin (USA)**

Timothy McCartin dispose de plus de 35 années d'expérience dans le domaine du stockage de déchets radioactifs en couches géologiques à la Commission de la Réglementation Nucléaire (NRC) des États-Unis. Depuis son entrée à la NRC, il a été impliqué, à niveaux de responsabilités toujours croissants, dans le développement et l'application (1) d'approches d'évaluation de performances et d'outils de calcul pour l'évaluation de la sûreté d'installations de stockage en couches géologiques, ainsi que (2) de la réglementation relative au stockage en couches géologiques. Son poste actuel implique la vérification de l'implémentation d'approches et de concepts d'évaluation de performances techniquement sûres au sein de la NRC pour la revue de demandes d'autorisation portant sur des installations de gestion de déchets et le développement d'évaluations de performances de ces installations. Il a également été

responsable technique du développement de la section 10 du Code de la Réglementation Fédérale, Partie 63, définissant les critères réglementaires dirigeant la demande d'autorisation du Département de l'Énergie des États-Unis concernant l'établissement d'un dépôt de déchets de haute activité à Yucca Mountain. Il a également piloté le projet de revue de la demande d'autorisation du Département de l'Énergie des États-Unis pour Yucca Mountain.

### **Geert Volckaert (Belgique)**

Geert Volckaert travaille depuis plus de 30 ans dans le domaine du stockage des déchets radioactifs. Après un diplôme en chimie en 1985, il rejoint le SCK•CEN (Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire) de Mol, en Belgique, pour y travailler premièrement dans le domaine de l'évaluation de la sûreté et des performances du stockage de déchets nucléaires, en surface comme en couches géologiques argileuses. À partir de 1988, il prend également part à des travaux impliquant des expériences sur site de conception, d'installation et de suivi dans le laboratoire de recherche souterrain HADES, dans l'argile de Boom. Ses travaux expérimentaux sont alors principalement portés sur le remblai, les scellements et le transport de gaz dans l'argile. À cette époque, il est également impliqué dans le développement de programmes de stockage de déchets dans plusieurs pays d'Europe de l'Est. Il devient ensuite responsable du groupe d'expertise sur les Déchets et le Stockage et directeur adjoint de l'institut Environnement, la Santé et la Sûreté du SCK•CEN. En 2013, il rejoint l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN, autorité belge de régulation nucléaire), en tant que responsable du département de gestion et stockage des déchets nucléaires. À l'heure actuelle, les activités principales de ce département concernent l'instruction de fichiers de sûreté pour une demande d'autorisation relative au stockage en surface de déchets nucléaires et des préparations avant demande d'autorisation pour le stockage en couches géologiques de déchets de moyenne et haute activité.

### **Gérard Bruno (AIEA)**

Gérard Bruno travaille depuis plus de 20 ans dans le domaine du stockage des déchets radioactifs. Après un doctorat en Géologie, il rejoint l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), organisme de sûreté technique assistant l'Autorité de Sûreté Nucléaire, où il travaille principalement sur la revue d'études de faisabilité pour le stockage de déchets HA en couches géologiques profondes (formations argileuses). Il rejoint la Direction Générale de l'Énergie et des Transports de la Commission Européenne en 2006, puis l'AIEA en 2009, en tant que spécialiste de la sûreté des déchets. Il dirige depuis août 2010 l'unité de Gestion des Combustibles Usés et Déchets Radioactifs de l'AIEA. Les activités principales de l'unité incluent le développement de normes de sûreté pour les phases de stockage et avant stockage des déchets radioactifs, ainsi que leur application par l'intermédiaire de missions d'assistance, revues de pairs et projets d'harmonisation internationale.

### **Philippe Van Marcke (AIEA)**

Philippe Van Marcke jouit de 10 ans d'expérience dans le domaine du stockage géologique de déchets radioactifs. En 2007, il rejoint le Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire de Belgique, où il travaille sur des études de R&D entreprises dans le laboratoire de recherche souterrain HADES, dans le cadre du programme de stockage de déchets de haute activité et à vie longue de l'ONDRAF/NIRAS. En 2010, il rejoint l'ONDRAF/NIRAS, organisation belge de gestion des déchets, pour y coordonner les études de R&D sur la faisabilité du programme de stockage géologique de l'ONDRAF/NIRAS. Il travaille depuis 2015 au sein de l'unité de stockage de l'AIEA. Les activités principales de l'unité incluent le soutien aux États membres dans la

recherche et l'application de solutions sûres, rapides et économiques pour le stockage de toutes formes de déchets radioactifs.

## RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif Partie 5, n° GSR Partie 5, AIEA, Vienne (2009)
- [2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Stockage définitif des déchets radioactifs, Collection Normes de sûreté de l'AIEA n° SSR-5, AIEA, Vienne (2011)
- [3] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide (en anglais), n° SSG-14, AIEA, Vienne (2011)
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Évaluation de la sûreté des installations et activités, n° GSR Partie 4 (rév.1), AIEA, Vienne (2016)



## A3. ENGAGEMENTS DE L'ANDRA (LETTRE DG/17-0097 DU 27 AVRIL 2017)



Châtenay-Malabry, le 27 AVR. 2017

Monsieur Pierre-Franck CHEVET  
Président de l'Autorité de Sûreté  
Nucléaire

15-21, rue Louis Lejeune  
CS 70013  
92541 MONTROUGE CEDEX

Le directeur général

Tél. 01 46 11 80 00

Affaire suivie par : S. VOINIS

Réf : [1] Lettre DG/16-0105 du 6 avril 2016  
[2] Lettre DG/16-0141 du 13 mai 2016  
[3] Lettre DG/16-0156 du 24 mai 2016  
[4] Lettre DISEF/DIR/16-0116 du 6 juillet 2016

N/réf : DG/17-0097

Objet : **Projet de stockage Cigéo - Instruction du dossier relatif aux « options de sûreté - livrables Cigéo 2015 »**

Monsieur le président,

Dans le cadre de l'instruction du dossier cité en objet transmis par lettres citées en références de [1] à [4], vous trouverez en annexe à la présente les engagements que l'Andra propose de prendre dans l'objectif de l'autorisation de création de Cigéo.

Ces engagements ont fait l'objet d'échanges avec l'IRSN dans le cadre de l'instruction dès la réunion préparatoire au groupe permanent.

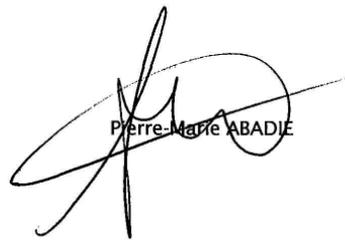
Ces engagements constituent uniquement les nouveaux engagements issus de l'instruction du dossier cité en objet et ne reprennent pas ceux des instructions précédentes. Conformément aux échanges entre nos services, l'ensemble des demandes et engagements issus des instructions sur des dossiers intermédiaires, depuis le Dossier 2005 et jusqu'à ceux présentés en annexe du présent courrier, pourrait faire l'objet d'un échange entre l'ASN et l'Andra sur la base :

- du rapport définitif d'avis qui sera envoyé par l'IRSN avant la tenue du groupe permanent ; celui-ci reprendra les engagements antérieurs en indiquant si ils sont soldés ou non de leur point de vue ;
- de l'analyse de la pertinence de certaines demandes et engagements formulés lors des différentes instructions au regard de l'évolution des référentiels ainsi que de la conception de Cigéo. Le cadre législatif et réglementaire spécifique au projet Cigéo devra en particulier être regardé ;
- de l'analyse de l'ensemble des engagements et demandes, au regard de leur regroupement par thématique et de la cohérence de leur articulation calendaire.

.../2

Afin d'alimenter cet échange, nous prévoyons de vous transmettre prochainement un document de synthèse présentant les travaux de R&D prévus dans les années à venir en support des différentes étapes de la démonstration de sûreté. A l'issue de cette analyse entre nos services, la liste des demandes et engagements pourrait être ainsi stabilisée en vue de l'autorisation de création.

Vous en souhaitant bonne réception, je vous prie de croire, Monsieur le président, à l'assurance de ma considération distinguée.



Pierre-Marie ABADIE

P.J. : Engagements de l'Andra

## ENGAGEMENTS ANDRA

- E1-2017 Le dossier de DAC sera basé sur un inventaire prévisionnel des colis à stocker tenant compte d'un scénario industriel de référence actualisé, notamment en accord avec la stratégie retenue par EDF pour gérer le parc REP et le réacteur EPR (durée d'exploitation des réacteurs, type de combustible chargé).
- E2-2017 Pour ce qui concerne les déchets dont le conditionnement ne sera pas défini, l'Andra justifiera dans le dossier de DAC les hypothèses retenues dans la démonstration de sûreté.
- E3-2017 L'Andra présentera dans le dossier de DAC l'inventaire des colis à stocker avec la discrimination des marges prises en compte afin d'améliorer la lisibilité de l'inventaire et de mieux apprécier son conservatisme.
- E4-2017 L'Andra présentera à l'échéance de la DAC, une version consolidée des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires à Cigéo, définissant l'ensemble des exigences déclaratives, quantitatives et qualitatives assignées aux colis primaires HA et MA-VL, en cohérence avec la conception et la démonstration de sûreté.
- E5-2017 L'Andra justifiera, dans le dossier de DAC le cas enveloppe retenu vis-à-vis de la surrection prise en compte dans les simulations hydrogéologiques qui intègrent l'évolution géodynamique future de site de MHM.
- E6-2017 En vue d'asseoir l'évaluation de la stabilité des bâtiments en présence de vides karstiques, l'Andra transmettra dans le dossier accompagnant la DAC :
- les moyens mis en œuvre pour la détection des cavités ainsi que les dimensions des cavités susceptibles d'être détectables par ces méthodes ;
  - les examens complémentaires à conduire lors de l'ouverture des fouilles ;
  - le cas échéant, les moyens à mettre en œuvre pour supprimer les cavités accessibles.
- E7-2017 L'Andra justifiera dans le dossier de DAC le choix de la profondeur d'implantation du stockage dans le Callovo-Oxfordien sur la base d'un bilan avantages/inconvénients des différentes options en fonction notamment des propriétés mécaniques de la roche et des épaisseurs de garde, au regard de la sûreté de l'installation en exploitation et après fermeture.
- E8-2017 Une reconnaissance directe du Callovo-Oxfordien sera réalisée à l'aplomb de la zone suspectée affaissée dans le Nord de la ZIRA, par exemple par forages à des emplacements stratégiques permettant de lever tout doute sur sa profondeur réelle ainsi que sur le caractère intact de la roche dans les zones présumées flexurées. L'Andra présentera dans le dossier de DAC les premiers résultats de la reconnaissance ainsi que la manière dont l'architecture pourra le cas échéant tenir compte de cette zone si la flexuration était à terme avérée.
- E9-2017 L'Andra, dans le dossier de DAC :
- justifiera, pour les scénarios étudiés, les valeurs « de référence » et « enveloppe » retenues pour la porosité cinématique et pour la perméabilité du Callovo-Oxfordien sur la base d'une analyse des incertitudes qui s'appuiera sur l'ensemble des mesures expérimentales réalisées pour ces paramètres ;
  - évaluera la capacité de confinement globale du stockage en considérant un gradient de charge vertical qui tienne compte de la surcharge hydraulique, afin de disposer d'une estimation enveloppe des transferts des radionucléides, notamment à travers les ouvrages en cas de court-circuit hydraulique de la roche hôte.

- E10-2017** L'Andra précisera, dans le dossier de DAC, la spéciation chimique du sélénium dans les colis de stockage et dans la roche hôte.
- E11-2017** L'Andra prendra en compte dans le dossier de DAC l'influence de la profondeur et de la localisation des ouvrages dans son estimation de la nature et de l'extension de la zone endommagée qui leur est attenante.
- E12-2017** L'évaluation des valeurs de perméabilité de la ZFC au droit des zones de dépose des revêtements sera assortie dans le dossier de DAC d'une étude de sensibilité à la méthode d'interprétation des mesures utilisée.
- E13-2017** L'Andra tiendra compte dans le dossier de DAC de la cicatrization hydraulique dans les unités lithologiques USC et UT déduite de l'état des connaissances dont elle disposera.
- E14-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les éléments de démonstration relatifs à l'adaptabilité de Cigéo au stockage de combustibles usés au regard des dimensions des ouvrages et de leur impact sur la roche hôte.
- E15-2017** Le modèle hydrogéologique présenté par l'Andra dans le dossier de DAC tiendra compte, au mieux des connaissances, des propriétés géologiques et hydrogéologiques des formations de l'Oxfordien et du Dogger, en particulier pour représenter :
- les horizons poreux et la Série grise de l'Oxfordien ;
  - les unités du Dogger dans la zone de transposition ainsi qu'au-delà jusqu'aux exutoires potentiels de cette formation.
- E16-2017** L'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier de DAC, les dispositions technologiques retenues pour la fabrication du chemisage et des conteneurs de stockage de colis de déchets HA, ainsi que pour la fermeture de ces derniers, permettant de limiter les risques de corrosion localisée (corrosion sous contrainte, piqûration et corrosion sous dépôt). L'Andra présentera les éléments de connaissance y compris les résultats des programmes d'essais sur lesquels se fondent ces choix.
- E17-2017** L'Andra présentera dans le dossier de DAC les résultats des développements et acquisitions de données pour l'établissement des modèles de relâchement des colis de déchets vitrifiés HA, en particulier ceux visant à :
- préciser l'influence des matériaux d'environnement sur la phénoménologie d'altération des verres, notamment pour ce qui concerne le passage d'un régime de vitesse initiale à un régime de vitesse résiduelle ;
  - prendre en compte l'évolution des exigences de température au cœur du verre au moment de l'arrivée de l'eau ;
  - améliorer la compréhension des phénomènes d'altération des verres par la vapeur d'eau et de l'impact de celle-ci sur l'altération ultérieure sous eau ;
  - démontrer l'absence d'effet défavorable du matériau de remplissage à l'extrados du chemisage en acier des alvéoles HA sur le comportement à long terme des déchets vitrifiés.
- E18-2017** L'Andra présentera dans le dossier de DAC, les études phénoménologiques d'altération des verres MA-VL en milieux cimentaires classique et bas pH pour l'établissement des modèles de relâchement.

- E19-2017 L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les travaux de son programme de R&D sur la corrosion des aciers, relatifs aux effets d'une activité bactérienne au regard des conditions d'environnement attendues au niveau des alvéoles HA, afin de vérifier que l'activité des bactéries ne remet pas en cause les performances du chemisage et des conteneurs de stockage HA.
- E20-2017 L'Andra justifiera dans le dossier de DAC, la faisabilité technique des dispositions de surveillance de la corrosion des conteneurs de stockage et du chemisage des alvéoles HA en appui à la démonstration du respect des exigences qui leur sont assignées.
- E21-2017 L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, un concept d'alvéoles HA, dont la capacité de réalisation et l'atteinte des performances visées s'appuieront sur des éléments de connaissance issus notamment d'essais en vraie grandeur menés au Laboratoire souterrain.
- E22-2017 L'Andra s'assurera dans le dossier de DAC, que les propriétés de transport assignées aux zones d'argilite endommagée (ZFC et ZFD) dans les évaluations des scénarios d'évolution du stockage soient bien enveloppées des potentiels effets des différentes perturbations chimiques qui pourraient prendre place dans ces zones.
- E23-2017 Le gonflement maximal possible des matériaux cimentaires sous l'effet de l'attaque sulfatique par les sulfates issus des déchets salins sera évalué et le cas échéant il sera vérifié que ce gonflement n'entraîne pas de contraintes mécaniques sur la roche hôte autour des alvéoles MAVL.
- E24-2017 L'Andra montrera dans le dossier de DAC, que l'impact sur les composants en béton bas pH de la concomitance des perturbations liées d'une part à la carbonatation atmosphérique, d'autre part aux interactions béton/argile (contact avec la roche et/ou l'eau porale du Callovo-Oxfordien), ne remet pas en cause sur toute la durée de l'exploitation la tenue mécanique du béton bas pH du revêtement le cas échéant mis en place au droit des futurs scellements dès la phase de construction et du corps d'alvéole de stockage MAVL de colis vitrifiés.
- E25-2017 Dans le dossier de DAC, l'Andra intégrera, dans le dimensionnement de l'installation et des dispositions de sûreté associées, les cumuls plausibles d'événements identifiés.
- E26-2017 L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, l'examen de l'ensemble des scénarios qu'ils soient enveloppés ou non en termes de conséquences radiologiques et chimiques y compris pour chaque scénario de cumul plausible et y associe les dispositions de sûreté qui en découlent le cas échéant.
- E27-2017 L'Andra s'engage à compléter les évaluations complémentaires de sûreté dans le dossier de DAC, notamment en :
- précisant les effets faibles potentiels pour des phénomènes naturels extrêmes, et le cas échéant, justifiant le niveau d'aléa « ECS » retenu pour le dimensionnement des composants entrant dans la définition du " noyau dur " ;
  - tenant compte des combinaisons de situations causées par le même événement initiateur ;
  - identifiant les moyens de secours nécessaires et les équipements en interface avec eux, ainsi que les contraintes liées à l'intervention en situation de type « ECS » nécessitant un dimensionnement adéquat ;
  - évaluant, sur la base des conséquences radiologiques calculées pour chacune des situations redoutées, le bien-fondé et l'efficacité des dispositions prévues.

- E28-2017** Dans le cas d'EIP ne pouvant faire l'objet de maintenance et de contrôle, l'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les dispositions retenues à la conception permettant de justifier du maintien de la qualification de ces EIP, au regard de leurs durées et de leurs conditions de service.
- E29-2017** L'Andra évaluera, dans le dossier de DAC, afin de tester la robustesse du concept de stockage, les conséquences sur la sûreté à long terme d'un scénario conventionnel d'effondrement qui pourrait conduire à une diminution de l'épaisseur de garde saine de roche hôte, au cours de la phase d'exploitation de Cigéo, dans l'installation souterraine à proximité de colis stockés. L'Andra identifiera, le cas échéant, les dispositions complémentaires qui pourraient être mises en œuvre pour limiter les conséquences d'un tel scénario.
- E30-2017** Les conditions et les résultats des caractérisations d'une part et des essais d'autre part permettant de justifier les performances des conteneurs de stockage MAVL pendant la phase d'exploitation, seront présentés dans le dossier en support de la DAC.
- E31-2017** Dans le Dossier de DAC, l'Andra présentera la liste préliminaire et la nature des contrôles portant sur les emballages de transport et les colis (colis primaire, conteneur de stockage et colis de stockage), ainsi que les critères associés.
- E32-2017** L'Andra complètera, dans le dossier de DAC, l'organisation de la salle de commande de l'installation EP1 et la justification de son classement radiologique.
- L'Andra précisera les modalités de déclassement des zones « rouges », de signalisation des zones intermittentes et de gestion des accès.
- E33-2017** Le programme d'essais de qualification prévu par l'Andra et présenté dans le dossier de DAC :
- tiendra compte des dispositifs complémentaires retenus dans la conception des conteneurs de stockage MAVL « renforcés vis-à-vis du confinement » si ceux-ci sont confirmés,
  - permettra de démontrer que l'ensemble des colis de stockage, quelle que soit la solution de stockage retenue (conteneur de stockage « standard » ou « renforcé vis-à-vis du confinement »), atteignent les performances de confinement visés sur l'ensemble de la phase d'exploitation.
- E34-2017** Dans le dossier de DAC, l'Andra justifiera que la conception de la hotte, prenant en compte ses singularités et son taux de fuite en situations incidentelle et accidentelle, permettra de limiter le relâchement d'activité estimé dans un volume restreint, à un niveau compatible avec la classe de ventilation de type C1-I retenue pour les descenderies, la ZSL et les galeries de liaison et d'accès aux alvéoles.
- E35-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les dispositifs de surveillance de la contamination et les performances qui leur seront assignées, et justifiera la faisabilité technique des dispositions retenues afin de détecter une contamination atmosphérique dans l'alvéole MA-VL, en cohérence avec le domaine de fonctionnement.
- E36-2017** L'Andra, pour la DAC, étudiera les moyens disponibles pour détecter en phase d'exploitation toute anomalie susceptible de remettre en cause la sûreté-criticité et vérifiera que les moyens de surveillance existants permettraient de statuer, en cas d'anomalie(s), sur l'absence de surexposition liée à un hypothétique accident de criticité en cas de nécessité d'intervention.

- E37-2017** L'Andra précisera les exigences en matière de température en phase d'exploitation dans les alvéoles MA-VL contenant des colis de déchets d'enrobés bitumineux, en cohérence avec les fonctions et performances associées qui sont attribuées à ces colis à long terme, et justifiera les dispositions techniques mises en œuvre pour leur maintien.
- E38-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, des zones de feu au sens de la décision incendie de l'ASN permettant de garantir l'absence de propagation d'un incendie entre les cellules « déchargement ET », « contrôle C5 », « mise en conteneur », « déconditionnement » et « contrôle de 2nd niveau », de l'installation EP1.
- E39-2017** L'Andra analysera, dans le dossier de DAC, le risque de propagation d'un incendie en dehors de son volume initial et présentera, le cas échéant, un scénario de dimensionnement du PUI associé.
- E40-2017** L'Andra s'engage à ce que, dans le dossier de DAC, les zones tampon de l'installation de surface soient pourvues de systèmes de détection automatique en ambiance et d'extinction fixe d'incendie, et à justifier la classification de ces zones au sens de la décision incendie de l'ASN.
- E41-2017** Dans le dossier de la DAC, l'Andra s'engage à :
- préciser et justifier, sur la base d'éléments existants, le taux de fuite retenu pour l'ensemble des éléments constituant la façade d'accostage entre la galerie d'accès et la cellule de manutention MAVL, en particulier au niveau des traversées, dans toutes les situations de fonctionnement,
  - présenter un programme d'essais en vue de valider les performances de confinement de ces équipements rendant compte de situations tel un incendie dans un alvéole MAVL ; de démontrer leur adéquation avec les exigences de conception associées aux scénarios de dimensionnement,
  - évaluer les conséquences de situations d'incendie dans la partie utile de l'alvéole MAVL ou dans la cellule de manutention cumulées à la défaillance d'une disposition active de mise en confinement statique et démontre l'adéquation des dispositions retenues pour le confinement. Le cas échéant, des dispositifs complémentaires seront présentés.
- E42-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les dispositions retenues pour la prévention et la surveillance de formation d'une atmosphère explosive dans les locaux où les colis seront présents et justifiera l'adéquation de ces dispositions aux scénarios envisagés. En particulier, l'Andra précisera les performances attendues pour la surveillance de la concentration d'hydrogène en sortie d'un alvéole MAVL et justifiera la faisabilité technique des dispositions retenues afin de détecter une concentration en hydrogène en cohérence avec le domaine de fonctionnement.
- E43-2017** L'Andra, dans le dossier de DAC, présentera les éléments techniques en vue de conforter la maîtrise du risque d'explosion d'hydrogène produit par corrosion anoxique des aciers dans un alvéole HA et présentera la stratégie de surveillance de l'atmosphère des alvéoles HA et les premiers résultats des tests réalisés in situ au Laboratoire souterrain.
- E44-2017** L'Andra présentera, dans le dossier en support à la DAC, les dispositions de gestion de la réception d'emballages de transport dans Cigéo, en tenant compte des incertitudes relatives à l'arrivée des convois sur le centre et des situations de blocage envisageables dues aux aléas d'exploitation ou aux incidents dans l'installation de surface.
- E45-2017** L'Andra justifiera dans le dossier de DAC, le caractère pénalisant des scénarios de collision du transfert incliné en gare basse de la descenderie, pris en compte parmi les situations de dimensionnement de l'installation ou de son PUI.

- E46-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les opérations liées à la remise en exploitation d'un ouvrage de stockage mis sous cocon.
- E47-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, la stratégie et les dispositions techniques de surveillance des alvéoles HA notamment le maintien du jeu fonctionnel en appui à la démonstration de la récupérabilité des colis.
- E48-2017** L'Andra présentera, dans le dossier en support à la DAC, les dispositions qui pourraient être retenues en appui à un scénario hypothétique de retrait de colis HA postulé contaminé et dont la manutention reste possible.
- E49-2017** L'Andra associera, à l'examen de la remise en exploitation de Cigéo, dans le dossier en support à la DAC, l'analyse de la possibilité de retrait de colis susceptibles d'être impactés lors d'accidents de dimensionnement de l'installation ou du PUI et l'identification, le cas échéant, des dispositions complémentaires.
- E50-2017** L'Andra décrira, dès que possible, dans son plan de management de projet de Cigéo une organisation qui permette à l'ensemble des parties prenantes de la MOA et de la MOE de construire une vision partagée des principes d'exploitation de Cigéo dans l'objectif d'assurer, en fin d'APD, la complétude et la cohérence d'ensemble des spécifications détaillées pour une exploitation fiable. En particulier, cette organisation visera à favoriser une interaction tout au long du projet entre la cellule d'exploitation, le représentant FOH de la MOA, les spécialistes FOH de la MOE, les spécialistes sûreté de la MOA et les responsables techniques des sous-systèmes.
- E51-2017** L'Andra complètera son plan de management pour préciser les actions FOH qui seront menées lors des différentes phases à venir du projet et présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, les opérations sensibles pour la sûreté et la radioprotection et les dispositions d'ordre technique, humain et organisationnel prévues pour limiter les conséquences des défaillances potentielles d'origine humaine et technique, lorsque ces dernières doivent être corrigées par les opérateurs eux-mêmes, incluant pour chacune d'entre elles les éléments de justification suivants :
- l'ensemble des acteurs (rôles et responsabilités) susceptibles d'être mobilisés au fur et à mesure de la préparation et de la réalisation d'une activité d'exploitation ;
  - les exigences particulières de réalisation des actions telles que la précision ou la rapidité d'exécution des actions ;
  - les moyens et conditions d'interventions ;
  - les défaillances potentielles d'origine humaine et leurs conséquences pour la sûreté et la radioprotection ;
  - le programme FOH prévu pour valider les dispositions d'ordre technique, humain et organisationnel dans les phases à venir du projet.
- E52-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, l'analyse des risques d'explosion au niveau des séparations physiques de l'installation souterraine et les dispositions de prévention et de limitation des conséquences associées ainsi que leurs exigences.
- E53-2017** L'Andra prendra en compte la possibilité d'une défaillance du système de ventilation dans le choix du positionnement des dispositifs de surveillance de la contamination atmosphérique pour les locaux à risque.
- E54-2017** L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les moyens destinés aux opérations de surveillance et de maintenance en alvéole MAVL et justifiera leur faisabilité technique.

- E55-2017** « L'Andra justifiera, dans le dossier de DAC, l'aléa sismique retenu pour la phase d'exploitation au regard de la durée de vie des installations de Cigéo ainsi que :
- pour les installations de surface de l'analyse des incertitudes associées à la définition du SMS, en considérant notamment des catalogues de sismicité consolidés et d'autres zonages sismotectoniques disponibles ;
  - pour l'installation souterraine d'une étude de la variation du mouvement sismique avec la profondeur dans le domaine de fréquence (0,25 - 33 Hz).
- E56-2017** Dans le dossier DAC, conformément à l'application du Guide n° 13 de l'ASN, l'Andra :
- vérifiera la pertinence de la station de référence qu'elle retient pour les pluies de forte intensité selon une approche régionalisée s'appuyant sur des données issues de stations locales pour lesquelles des données de précipitation pertinentes sont disponibles (incluant EST 6000) et ajustera le résultat si besoin ;
  - présentera les valeurs de pluies centennales retenues pour les différentes durées prises en compte, correspondant à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% conformément à l'application du guide ASN n°13, et vérifiera leur robustesse vis-à-vis des autres stations présentes localement ;
  - présentera les hypothèses, données d'entrée et résultats des calculs permettant de s'assurer du bon dimensionnement des différents composants du réseau pluvial et analysera un scénario de ruissellement de surface en considérant indisponible les accès au réseau local d'évacuation des eaux pluviales.
- E57-2017** Pour la DAC, l'Andra réévaluera le niveau de nappe extrême en intégrant le contexte piézométrique détaillé de la zone descendrière et justifiera de la méthodologie retenue, notamment en regard du guide inondation ASN et des règles de l'art. »
- E58-2017** « Compte tenu de l'objectif de l'Andra de conduire l'excavation des puits à l'explosif, l'Andra prévoira une reconnaissance des zones d'écoulement au sein des calcaires du Barrois, préalable au creusement de chaque puits ainsi qu'à l'avancement, dans le but d'identifier les éventuels zones d'écoulement reconnues ou possibles, en regard du caractère karstique des calcaires du Barrois, et de définir les besoins de traitement de terrain à réaliser en préalable ou durant la construction pour se prémunir des venues d'eau. La conception de ces traitements tiendra compte des méthodes de creusement et de réalisation des puits. Le revêtement étanche des puits sur toute la hauteur des calcaires du Barrois sera dimensionné vis-à-vis de sa tenue et de sa robustesse pendant la période d'exploitation de Cigéo, en prenant en compte les divers éléments susceptibles de l'altérer dans le temps, y compris les situations extrêmes. »
- E59-2017** Dans le dossier de DAC, l'Andra :
- établira un état préliminaire de référence des eaux souterraines ;
  - identifiera les installations de surface (nucléaires, non nucléaires dont les verses) ; susceptibles de générer des relâchements de substances radiologiques ou chimiques dans les eaux superficielles ou souterraines et dans l'atmosphère, relâchements qui seront identifiés, quantifiés et soumis à autorisation ; et, en regard, présentera les modalités de surveillance (point, fréquence de mesure et paramètres suivis) des nappes des calcaires du Barrois qu'elle propose de mettre en œuvre autour des installations cibles.
- E60-2017** Dans le dossier de DAC, l'Andra :
- justifiera le caractère enveloppe du chargement de neige retenu ;
  - précisera les durées et niveaux d'aléas visés pour les températures retenues en fonction de la nature des équipements à protéger et, le cas échéant, réévaluera les niveaux de températures extrêmes en tenant compte de l'état de l'art disponible et des effets locaux ;
  - justifiera les marges prises sur la vitesse de vent extrême.

- E61-2017 L'Andra complètera, dans le dossier de DAC, son analyse des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication, en tenant compte :
- des phénomènes dangereux induits par les réseaux de canalisations de gaz ou d'hydrocarbures desservant l'installation Cigéo, si de tels réseaux sont finalement retenus dans la conception ;
  - d'un scénario de brèche majeure sur un camion-citerne de GPL, sur les voies de communication pouvant induire ce risque, entraînant la formation d'un nuage de gaz inflammable puis son inflammation (UVCE).
- E62-2017 Dans le dossier DAC, l'Andra présentera les scénarios d'intervention post incident/accident retenus ainsi que les évaluations préliminaires de la dosimétrie pour le personnel intervenant dans ces scénarios.
- E63-2017 L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les caractéristiques des cours d'eaux envisagés comme exutoires des effluents d'exploitation (débits caractéristiques et qualité des eaux), les dispositions permettant d'assurer la compatibilité des rejets dans ces cours d'eau (volume et qualité), notamment pour la zone des verses, ainsi que les impacts sur les usages de l'eau en aval.
- E64-2017 L'Andra évaluera dans le dossier de DAC, les conséquences, envisageables sur le milieu géologique de séismes survenant après fermeture du stockage, et justifiera de leur prise en compte dans l'évaluation de sûreté après fermeture.  
Dans ce cadre, l'Andra justifiera le spectre retenu, en regard en particulier d'une part d'une possible évolution des contraintes tectoniques, notamment en lien avec les futures périodes glaciaires, au cours du prochain million d'années.
- E65-2017 Pour le dossier de la DAC, dans le cadre des évaluations de l'impact du stockage à long terme, l'Andra étudiera une situation enveloppe de l'effet de l'évolution géoprospective vis-à-vis des écoulements dans les encaissants, plus particulièrement l'Oxfordien carbonaté, et justifiera du caractère enveloppe. L'Andra étudiera notamment le cas d'un exutoire dans l'Oxfordien pour le scénario d'évolution normale du stockage et justifiera des éléments de conceptualisation associés.
- E66-2017 L'Andra évaluera, dans le dossier de DAC, l'impact radiologique du stockage à long terme en considérant la possibilité pour tout ou partie du <sup>79</sup>Se, suivant le type de déchets, d'être sous sa forme Se (VI), soluble et mobile, à l'instar du <sup>36</sup>Cl et de l'<sup>129</sup>I, et justifiera des choix retenus in fine.

# **T1. 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 des données de 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 sur environ 4 km<sup>2</sup> a contribué à préciser la connaissance de la géologie à l'échelle locale (autour 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 ([Note Andra D.RP.0G2R.00.003/A](#)).

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 ([Note Andra C.RP.1GTR.03.001/B](#)). 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 d'un kilomètre de galeries ont été excavées.

En 2007-2008, une campagne de reconnaissance complémentaire de la ZT ([Note Andra D.RP.ALS.08.1356/B](#)) 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 (31 forages dits « forages VT » (mesure de paramètres géophysiques) dans la zone de transposition).

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 ([Note Andra C.RP.ADP.09.0035/A](#)).

Le programme de reconnaissance complémentaire de l'Andra mené en 2010 sur la ZIRA comprend notamment une campagne d'acquisition géophysique de sismique réflexion 3D, menée en juillet 2010 sur une surface de 37 km<sup>2</sup> environ, soit légèrement plus large que la ZIRA. Dans le dispositif expérimental utilisé par l'Andra pour la sismique réflexion 3D en 2010, la source correspond à une force verticale et les capteurs sont des géophones qui enregistrent la composante verticale du mouvement du sol pour des fréquences supérieures à 10 Hz, comme lors de la campagne menée en 1999. La profondeur de la première interface pointée, le toit des Calcaires blancs (Barrois), a été déduit d'un modèle de corrections statiques, construit à partir de lignes de sismique réfraction et de 15 forages VT de 30 m et 4 carottés de 50 m, réalisés dans la ZIRA ([Note Andra D. RP.ASMG.11.0102/A](#)).

Cette campagne de forages VT de 2010 a par ailleurs permis de préciser les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des calcaires du Barrois ([Note Andra D. RP.ASMG.11.0102/A](#)).

## T2. INVENTAIRE PAR FAMILLE ELEMENTAIRE DE COLIS

Partie A : Inventaire par famille élémentaire de colis de déchets de haute activité (Note Andra CGPEADPG110074.D - [162])

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )
CEA-200	Conteneurs PIVER produits de 1969 à 1981 contenant des solutions de produits de fission SICRAL et PHENIX dans une matrice verre	F1-5-01	Etui inox regroupant 2 PIVER	0,175	88	16
CEA-350	Conteneurs en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés d'Atalante	-	Conteneur AVM	0,175	5	1
CEA-1070	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits sous spécification d'assurance qualité depuis mars 1995	F1-4-01	Conteneur AVM	0,175	865	151
CEA-1080	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits avant 1995	F1-4-01	Conteneur AVM	0,175	2 294	402
CEA-1190	Déchets vitrifiés divers (verres de laboratoire) entreposés au bâtiment 213 de l'APM (hors PIVER)	F1-5-01	A déterminer	0,175	8	1
CEA-1500	Sources radioactives HA (137Cs, 90Sr, 238Pu)	S01	Conteneur AVM	0,175	7	1
COG-140	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 016	F1-3-01	CSD-V	0,18	6 900	1 242
COG-150	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-U : verres UMo produits suivant la spécification 300 AQ 059	F1-3-02	CSD-U	0,18	1 000	180
COG-200	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX/URE/MOX	F1-3-01	CSD-V	0,18	24 060	4 331
COG-800	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 060	F1-3-01	CSD-V	0,18	19 010	3 422
COG-810	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres de vidange R7/T7	F1-3-01	CSD-V	0,18	250	45
COG-820	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres de calcinats	F1-3-01	CSD-V	0,18	75	14
COG-830	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres REP/RNR (Superphénix et Phénix)	F1-3-01	CSD-V	0,18	1 095	198
COG-850	Déchets technologiques issus des ateliers de vitrification conditionnés en Conteneurs Standards	F1-3-03	CSD	0,18	200	36
COG-860	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en Conteneurs Standards	F1-3-05	CSD	0,18	52	9
COG-870	Capsules de titanates de Sr conditionnées en Conteneurs Standards	F1-3-04	CSD	0,18	3	1
COG-880	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/Civil	F1-3-01	CSD-V	0,18	11	2
COG-890	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/DAM	F1-3-01	CSD-V	0,18	80	14
COG-900	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU EL4	F1-3-01	CSD-V	0,18	30	6

<b>TOTAL HA</b>	<b>56 033</b>	<b>10 072</b>
-----------------	---------------	---------------

Partie B : Inventaire par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue (Note Andra CGPEADPG110074.D)

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870L	S01	870l	0,88	19	18
CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification s'assurance qualité (à partir du 01/01/94) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-04	870l	0,88	3 550	3 124
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-05	500l acier	0,5	1 250	625
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	F2-5-02	500l béton	0,5	43	22
CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-04	870l	0,88	2 188	1 925
CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-04	870l	0,88	562	495
CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/l enrobés dans un liant hydraulique	F2-5-03	870l	1,1	40	44
CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-05	500l acier	0,5	427	214
CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-05	500l acier	0,5	210	105
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	F2-5-02	500l béton	0,5	2 297	1 149
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	F2-5-02	500l béton	0,5	381	191
CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m <sup>3</sup>	F2-5-01	5 m <sup>3</sup> béton	5	19	95
CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP		EIP	0,38	952	362
CEA-270	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM Valduc)	F2-5-04	870l	0,88	415	365
CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	F2-5-02	Fût acier	0,254	2 149	546
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-06	Conteneur acier	2,28	169	385
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-06	Conteneur acier	2,28	11	25

Partie B : Inventaire par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue ([Note Andra CGPEADPG110074.D](#)) - Suite

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	F2-5-06	Conteneur acier	1,04	88	92
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés	F2-6-02	Fût acier	0,22	360	80
CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques "Pégase"	F2-5-04	870 l 313 FI	0,88	619	545
CEA-340	Conteneur standard de déchets (CSD) contenant des effluents américiés vitrifiés (vene MAVL Valduc)	F2-6-03	CSD	0,18	300	54
CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du cœur de Phénix	F2-4-12	A déterminer	0,206	781	161
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	F2-4-12	A déterminer	0,206	8	2
CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	F2-4-15	A déterminer	1,5	3	5
CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de CADARACHE et de l'exploitation et du DEM du RJH	-	A déterminer	0,206	200	41
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de SACLAY	-	A déterminer	0,206	300	61
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de FONTENAY-aux-ROSES	-	A déterminer	0,206	230	47
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de GRENOBLE	DIV2	A déterminer	0,206	40	8
CEA-440	Conteneurs 500 litres en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique (exploitation CABRI, DEM Rapsodie, fosses CAD, CENG)	F2-5-05	500 l	0,5	2 000	1 000
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits "Blocs sources"	F2-9-01	Conteneur acier	3,05	41	125
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA Valduc	-	870 l	0,88	40	35
CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	DIV2	Fût acier	0,23	50	12
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	F2-4-03	EIP	0,38	2 700	1 026
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	F2-4-03	EIP	0,38	1 709	650
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis primaires	F2-4-04	EIP	0,38	12 955	4 923
CEA-1021	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis de stockage		EIP	0,38	11 467	4 357
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	F2-4-10	EIP	0,38	3 013	1 145
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	F2-4-07	EIP	0,38	1 320	502

## Partie B : Inventaire par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue (Note Andra CGPEADPG110074.D) - Suite

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	F2-4-09	Fût acier	0,22	7 464	1 642
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	F2-4-11	EIP	0,38	1 353	514
CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha MARCOULE)	F2-5-04	870   FI	0,88	410	361
CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	F2-4-05	A déterminer	0,175	188	33
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UPI MARCOULE (verres MAVL)	F2-4-13	Conteneur AVM	0,175	147	26
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	F2-4-10	EIP	0,38	120	46
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	F2-4-14	EIP	0,38	60	23
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR		A déterminer	0,206	450	92
CEA-1180	Fûts alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	DIV2	Fût acier	0,23	183	42
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	DIV2	A déterminer	0,206	50	10
CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	S01	870   FI	0,88	60	53
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	F2-3-04	Fût acier	0,222	11 900	2 642
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	F2-3-08	CBF-C'2	1,18	8 292	9 784
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	F2-3-01	Fût acier	1,5	1 517	2 276
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	F2-3-07	CAC	1,18	324	382
COG-070	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts du silo HAO	F2-3-02	CSD-C	0,18	1 527	275
COG-100	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	F2-3-02	CSD-C	0,18	6 675	1 202
COG-110	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	F2-3-02	CSD-C	0,18	17 850	3 213
COG-120	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	F2-3-02	CSD-C	0,18	22 720	4 090



### T3. SYNTHÈSE DU NOMBRE DE COLIS PRIMAIRES ET DU VOLUME ASSOCIÉ RETENUS DANS L'INVENTAIRE DE CIGEO SELON L'ÉTAT D'AVANCEMENT DES CONDITIONNEMENTS

(Compilation IRSN)

		Nombre de colis primaires	Volume (m <sup>3</sup> )	Part de l'inventaire en nombre de colis primaires	Part de l'inventaire en volume
Déchets produits et futurs pour lesquels le conditionnement existe	Colis divers tels que les CSD-V, CSD-C, CSD-U, CSD-B, CBF-C'2, etc.	144 919	47 112	62%	56%
	Colis de déchets bitumés	41 071	16 673	18%	16%
	<b>Total</b>	<b>185 990</b>	<b>60 785</b>	<b>80%</b>	<b>73%</b>
Déchets produits	Conditionnement ne prévoyant pas le blocage	1 231	516	1%	1%
	Conditionnement en cours de développement, d'étude ou d'autorisation	31 338	11 675	14%	14%
	Conditionnement non définis	8 779	7 494	4%	9%
	<b>Total</b>	<b>41 348</b>	<b>19 685</b>	<b>18%</b>	<b>24%</b>
Déchets futurs pour lesquels le conditionnement est à définir		4 676	3 211	2%	4%
<b>Total</b>		<b>232 014</b>	<b>83 681</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

## **T4. ORIENTATIONS RETENUES POUR L'ETABLISSEMENT DES MARGES DE L'INVENTAIRE DES COLIS**

(Note Andra CGPEADPG110074.D - [162])

<b>Etat d'avancement</b>	<b>Orientations</b>
Colis dont la production est terminée	Aucune marge n'est ajoutée à l'inventaire
Colis dont la production est en cours	Des marges sont adoptées au cas par cas lorsqu'il existe des incertitudes sur les quantités de déchets à conditionner à l'avenir ou sur la concentration des déchets dans les colis à produire. Cela peut être le cas par exemple de colis au contenu très variable (typiquement des colis de déchets technologiques)
Colis résultant des opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens (RCD) entreposés sous forme brute ou à reconditionner ou produits par des installations nouvelles de traitement de déchets ou d'effluents	Dans le scénario industriel des producteurs, les nombres de colis à produire par de nouvelles installations de conditionnement ou résultant du conditionnement des déchets anciens sont estimés par le producteur en fonction de l'état d'avancement de son programme de reprise de déchets ou de mise en service d'installations. Comme dans le cas ci-dessus, des marges peuvent aussi être prises pour tenir compte des incertitudes liées aux quantités de déchets futurs à produire ou de déchets anciens entreposés (particulièrement sous forme brute), ainsi que des incertitudes liées aux caractéristiques de ces déchets et aux modalités de conditionnement ou de reconditionnement
Colis à produire par les opérations de démantèlement non encore engagées	Le nombre des colis de déchets qui seront produits par le démantèlement des différentes installations prend en compte une marge du fait d'incertitudes sur l'estimation des opérations nécessaires au démantèlement, sur le volume de déchets bruts affecté au final à chaque filière de gestion, ainsi qu'aux modalités futures de conditionnement comme ci-dessus

## T5. MARGES RETENUES PAR FAMILLE ELEMENTAIRE POUR L'INVENTAIRE DES COLIS DE DECHETS

(Andra, transmis au cours de l'instruction du dossier « Etudes remises depuis 2009 »)

Partie A : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de haute activité

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
HA	CEA-200	Conteneurs PIVER produits de 1969 à 1981 contenant des solutions de produits de fission SICRAL et PHENIX dans une matrice verre	Etui inox regroupant 2 PIVER	0,175	88	16	0	0
HA	CEA-350	Conteneurs en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés d'Atalante	Conteneur AVM	0,175	5	1	0	0
HA	CEA-1070	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits sous spécification d'assurance qualité depuis mars 1995	Conteneur AVM	0,175	865	151	0	0
HA	CEA-1080	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits avant 1995	Conteneur AVM	0,175	2294	402	0	0
HA	CEA-1190	Déchets vitrifiés divers (verres de laboratoire) entreposés au bâtiment 213 de l'APM (hors PIVER)	A déterminer	0,175	8	1	0	0
HA	CEA-1500	Sources radioactives HA (137Cs, 90Sr, 238Pu)	Conteneur AVM	0,175	7	1	0	0
HA	COG-140	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V: verres produits selon la spécification 300 AQ 016	CSD-V	0,18	6900	1242	0	0
HA	COG-800	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V: verres produits selon la spécification 300 AQ 060	CSD-V	0,18	19010	3442	0	0
HA	COG-810	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V: verres de vidange	CSD-V	0,18	250	45	0	0
HA	COG-820	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V: verres de calcinât	CSD-V	0,18	50	9	25	5
HA	COG-830	CSD-V RNR/EPR	CSD-V	0,18	1020	184	0	0
HA	COG-850	Déchets technologiques issus des ateliers de vitrification conditionnés en Conteneurs Standards	CSD-	0,18	176	31	24	4
HA	COG-860	Déchets issus des colonnes d'éluion d'ELAN II B conditionnés en Conteneurs Standards	CSD-	0,18	52	9	0	0
HA	COG-870	Capsules de titanate de Sr conditionnées en Conteneurs Standards	CSD-	0,18	3	1	0	0
HA	COG-880	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/Civil	CSD-V	0,18	11	2	0	0
HA	COG-890	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/DAM	CSD-V	0,18	80	14	0	0
HA	COG-900	CSD-V issus du traitement des combustibles EL4	CSD-V	0,18	30	6	0	0

## Partie B : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
MAVL	CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification d'assurance qualité (à partir du 01/01/94) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	870 L	0,88	3150	2772	400	352
MAVL	CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	500 L acier	0,5	1100	550	150	75
MAVL	CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	500 L béton	0,5	43	22	0	0
MAVL	CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	870 L	0,88	2188	1925	0	0
MAVL	CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	870 L	0,88	562	495	0	0
MAVL	CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/l enrobés dans un liant hydraulique	870 L	1,1	40	44	0	0
MAVL	CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	500 L acier	0,5	427	214	0	0
MAVL	CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	500 L acier	0,5	210	105	0	0
MAVL	CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	500 L béton	0,5	2297	1149	0	0
MAVL	CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	500 L béton	0,5	381	191	0	0
MAVL	CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5m3	5m3 béton	5	19	95	0	0
MAVL	CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP	EIP	0,38	952	362	0	0
MAVL	CEA-270	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM VALDUC)	870 L	0,88	415	365	0	0
MAVL	CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	Fût acier	0,254	2149	546	0	0
MAVL	CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	Conteneur acier	2,28	169	385	0	0

## Partie B : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue - Suite

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
MAVL	CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	Conteneur acier	2,28	11	25	0	0
MAVL	CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	Conteneur acier	1,04	88	92	0	0
MAVL	CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés	Fût acier	0,22	360	80	0	0
MAVL	CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques "Pégase"	870 L 313 FI	0,88	619	545	0	0
MAVL	CEA-340	Conteneur standard de déchets (CSD) contenant des effluents américains vitrifiés (verre MAVL VALDUC)	CSD	0,18	300	54	0	0
MAVL	CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du coeur de Phénix	A déterminer	0,206	781	161	0	0
MAVL	CEA-370	Objets exotiques de Phénix	A déterminer	0,206	8	2	0	0
MAVL	CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	A déterminer	1,5	3	5	0	0
MAVL	CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de CADARACHE et de l'exploitation et du DEM du RJH	A déterminer	0,206	180	37	20	4
MAVL	CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de SACLAY	A déterminer	0,206	240	49	60	12
MAVL	CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de FONTENAY-AUX-ROSES	A déterminer	0,206	179	37	51	10
MAVL	CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de GRENOBLE	A déterminer	0,206	40	8	0	0
MAVL	CEA-440	Conteneurs 500 litres en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique (exploitation CABRI, DEM Rapsodie, fosses CAD, CENG)	500 L	0,5	2000	1000	0	0
MAVL	CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits "Blocs sources"	Conteneur acier	3,05	41	125	0	0
MAVL	CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA VALDUC	870 L	0,88	40	35	0	0
MAVL	CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	Fût acier	0,23	38	9	12	3
MAVL	CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	EIP	0,38	2500	950	200	76
MAVL	CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	EIP	0,38	1709	650	0	0

## Partie B : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue - Suite

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
MAVL	CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis primaires	EIP	0,38	12955	4923	0	0
MAVL	CEA-1021	Fûts en acier inoxydable issus du reconditionnement de fûts en acier non allié contenant des enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis de stockage	EIP	0,38	11467	4357	0	0
MAVL	CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	EIP	0,38	2521	958	492	187
MAVL	CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	EIP	0,38	1320	502	0	0
MAVL	CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	Fût acier	0,22	7464	1642	0	0
MAVL	CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	EIP	0,38	993	377	360	137
MAVL	CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha MARCOULE)	870 L FI	0,88	410	361	0	0
MAVL	CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	A déterminer	0,175	188	33	0	0
MAVL	CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 MARCOULE (verres MAVL)	Conteneur AVM	0,175	147	26	0	0
MAVL	CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	EIP	0,38	120	46	0	0
MAVL	CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	EIP	0,38	50	19	10	4
MAVL	CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR	A déterminer	0,206	434	89	16	3
MAVL	CEA-1180	Fûts alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	Fût acier	0,23	183	42	0	0
MAVL	CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	A déterminer	0,206	50	10	0	0
MAVL	CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	870 L FI	0,88	50	44	10	9
MAVL	COG-020	Fûts bitumes STE3 produits selon la spécification 300 AQ 027	Fûts STE3	0,222	11900	2642	0	0
MAVL	COG-030	Conteneurs Béton Fibre Cylindrique/CBF-C2 produits suivant la spécification 300 AQ 044	CBF-C2	1,18	8291	9784	0	0
MAVL	COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	Fût ECE cimentés	1,5	1517	2276	0	0
MAVL	COG-050	Conteneurs Amiante Ciment / CAC produits selon la spécification 300 AQ044	CAC	1,18	324	382	0	0
MAVL	COG-070	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C contenant des coques et embouts du silo HAO	CSD-C CE HAO	0,18	1527	275	0	0

## Partie B : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue - Suite

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
MAVL	COG-100	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2, et S3)	CSD-C 300 AQ 055	0,18	6675	1202	0	0
MAVL	COG-110	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages UOX	CSD-C	0,18	17 850	3213	0	0
MAVL	COG-120	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	CSD-C	0,18	22 720	4090	0	0
MAVL	COG - 150	Conteneurs Standards de Déchets Vitriifiés/CSD-U : verres UMo à produire selon la spécification 300 AQ 059	CSD-U	0,18	950	171	50	9
MAVL	COG-200	Conteneurs Standards de Déchets Vitriifiés/CSD-V: verres UOX/MOX	CSD-V	0,18	24 060	4331	0	0
MAVL	COG-400	Déchets alpha en provenance de Melox, La Hague et Cadarache	-	0,233	4400	1025	0	0
MAVL	COG-420	Fûts enrobés STEZ (reprise partielle du silo 550-14)	Fûts STEZ	0,222	340	75	0	0
MAVL	COG-430	Boues STEZ séchées, compactées et immobilisées dans un conteneur métallique	C5	0,268	14 429	3867	0	0
MAVL	COG-440	Fûts ECE cimentés de fines et résines du silo HAO	ECE cimentés	1,5	101	152	20	30
MAVL	COG-450	CSD-C RNR/EPR	CSD-C	0,18	1410	254	0	0
MAVL	COG-450	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C contenant des déchets de structure issus d'assemblages combustibles REP et RNR (SPX et PX) - Part PX	CSD-C	0,18	104	19	0	0
MAVL	COG-460	Conteneurs Standards de Déchets Compactés / CSD-C contenant des déchets technologiques métalliques et organiques et des déchets de DEM	CSD-C DT	0,18	500	90	0	0
MAVL	COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitriifiés (MAD UP2-400, UP2-800, UP3)	CSD-B	0,18	900	162	0	0
MAVL	COG-480	Colis CBF-C'2 contenant des déchets d'exploitation et de DEM (poubelles fosse ATTILA)	CBF-C'2	1,18	18	21	0	0
MAVL	COG-490	Déchets issus des opérations CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CSD-C	CSD-C	0,18	4450	801	0	0
MAVL	COG-500	Déchets issus des opérations CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CBF-C'2	CBF-C'2	1,18	1051	1240	0	0
MAVL	COG-510	Déchets issus des opérations de CDE DEM de l'usine MELOX conditionnés en CBF-C'2	CBF-C'2	1,18	352	415	0	0
MAVL	COG-520	Déchets issus des opérations de CDE DEM des installations CFCA de Cadarache conditionnés en CBF-C'2	CBF-C'2	1,18	25	30	0	0
MAVL	COG-550	CSD-C issus du traitement des combustibles EL4	CSD-C	0,18	200	36	0	0
MAVL	COG-830	Conteneurs Standards de Déchets Vitriifiés/CSD-V: verres REP/RNR (SPX et PX) - Partie PX	CSD-V	0,18	37	7	38	7

**Partie B : Marges par famille élémentaire de colis de déchets de moyenne activité à vie longue - Suite**

Catégorie	Identifiant famille	Intitulé famille	Conteneur primaire	Volume industriel (m <sup>3</sup> )	Inventaire de référence en nombre	Inventaire de référence en volume(m <sup>3</sup> )	Marges en nombre	Marges en volume (m <sup>3</sup> )
MAVL	EDF-080	C1PG de DAE REP	C1PG	2	1100	2200	100	200
MAVL	EDF-090	C1PG de DAD 1er train hors déchets sodés SPX	C1PG	2	700	1400	0	0
MAVL	EDF-100	DAD des REP du parc actuel (dont BCOT)	A déterminer		6360	7000	0	0
MAVL	EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	A déterminer		20	5	0	0
MAVL	EDF-120	Déchets AMI Chinon	A déterminer		100	25	0	0
MAVL	EDF-250	Déchets B4C RNR SPX	A déterminer		5	8	0	0
MAVL	ITER-010	Déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	Fût acier	0,687	3910	2685	766	526

## **T6. FAMILLES DE COLIS PRIMAIRES ET CARACTERISTIQUES RECENSEES PAR L'ANDRA POUR LE DIMENSIONNEMENT DE CIGEO**

(Rapport Andra CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060 - DOS-Expl - [39])

<b>Risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants</b>		
Pour les Locaux des installations de surface dans lesquelles les CP font l'objet d'opérations	MAVL	COG-100, COG-110, CEA-120, CEA-060, EDF-080 et ITER-010
	HA0	CEA-1080
	HA1/HA2	COG-800, COG-200
Pour les locaux/équipements accueillant les CtS	CtS1	CEA-140
	CtS2	COG-100, COG-110, CEA-060, CEA-120
	CtS3	COG-440, COG-040
	CtS4	CEA-280, COG-020, CEA-1020, CEA-1021
	CtS5	EDF-080, EDF-090, ITER-010, CEA-080
	CtS6	CEA-450
	CtS7	CEA-231
	CtS HA0	CEA-1080
	CtS HA1/HA2	COG-800, COG-200
Pour les hottes	Les grandeurs prises en compte sont les grandeurs maximales des familles de colis qu'elles transportent	

<b>Risque de dispersion de substances radioactives vis-à-vis d'une situation d'incendie</b>	
<b>CS</b>	<b>Familles de CP enveloppes</b>
CS 1	CEA-140
CS 2	CEA-110, CEA-060
CS 3	COG-440
CS 4	CEA-280
CS 5	CEA-1510, CEA-1100
CS6	CEA-450
CS7	CEA-231
CS HA	CEA-1190

Risque de dispersion de substances radioactives vis-à-vis d'une situation de chute, choc, collision		
Hauteur de qualification à la chute	CS	Familles de CP enveloppes
Sans	CS 5.1	CEA-1510
	CS 6	CEA-300, CEA-290
1,2 m	CS1	CEA-140
	CS 2	COG-030, COG-050
	CS 4	CEA-1010, CEA-1000, CEA-1020, CEA-1021
	CS 5	CEA-050, CEA-090
	CS 7	CEA-231
1,3 m	CS 5.3	EDF-080
1,8 m	CS 4	CEA-280
2,5 m	CS 6	CEA-450
4,5 m	CS 4	COG-020
6 m	CS 3	COG-440
	CS 2.3	CEA-110
7,3 m	CS 5	COG-430
7,5 à 8 m	CS2	CEA-060
9 m	CS2	COG-120, COG-110

Risque lié aux dégagements de gaz de radiolyse		
Familles de CP représentatives	Dégagement (L/CP/an)	Nombre de CP/CS
CEA-1100	15,8 (en 2010)	1
CEA-050, CEA-090	10,5	1
CEA-330	33,3	1
CEA-1000, CEA-1010	2,2	4
CEA-120	15	2
CEA-110	13,6	2
CEA-060	7,1	2
CEA-480	3,9 (9,5 au max)	4
CEA-030, CEA-050	31 (à la date de production)	1
COG-040	28 (en 1995)	1
COG-440	120 (valeur moyenne, quelques CP pouvant atteindre 300)	1
COG-460	11	4
EDF-080, EDF-090	87 (quantité potentiellement produite la première année sans prise en compte de la période d'entreposage)	1

Risque lié à la puissance thermique des CP		
CS	Famille de CP la plus pénalisant	Puissance par CP / par CS (W)
1	CEA-070	0,07 / 0,15 (2CP)
2.1	COG-030	0,42 (1CP)
2.2	COG-110	24 / 96 (4CP)
2.3	CEA-110	0,46 / 0,92 (2CP)
2.4	CEA-1120	8,07 / 32,28 (4CP)
3	COG-440	5,44 (1CP)
4	CEA-280	0,646 / 2,59 (4CP)
5.1	CEA-1510	4,70 (1CP)
5.2	CEA-100	0,01 (1CP)
5.3	EDF-080	50 (1CP)
5.4	COG-400	6,15 / 24,6 (4CP)
5 non défini	ITER-010	25,2 (1CP)
6	CEA-450	1,17 (1CP)
7	CEA-231	0,03 (1CP)
HA0	CEA-1080	279 / 552 (2CP)
HA1/HA2	COG-200 et COG-800	763 et 580 (1CP)

Risque de criticité			
Type de déchets	Conteneur primaire	Masse maximale de matières fissiles par CP (g)	Précisions
MAVL	Fût 218L	122	Masse maximale admissible pour un entreposage sur 4 niveaux sur le site producteur
	Fût 223L	80	Masse de matières fissiles admissible
	500L béton	80	Masse de matières fissiles admissible
	500L MI	200	Masse admissible : $^{235}\text{U} + \text{Pu}$ total < 200 g
	870L	200	Masse admissible : masse ( $^{235}\text{U} + 2 \times ^{239}\text{Pu}$ ) total < 200 g
	CAC	87,5	Masse maximale de Pu
	CBF-C'2	70	Masse maximale de Pu
	CSD-C	117,5	Masse maximale mesurée en $^{239}\text{Pu}$
HA	EIP	283	Masse maximale tous isotopes fissiles (12% de Pu)
	Etui inox 175L	176	Masse maximale de Pu
	150L AVM	110	Masse maximale de Pu
	CSD-V	110	Masse maximale de Pu admissible

## **T7. RESUME DES INVENTAIRES DE FAMILLES DE COLIS DE DECHETS MANQUANTS OU INCOMPLETS**

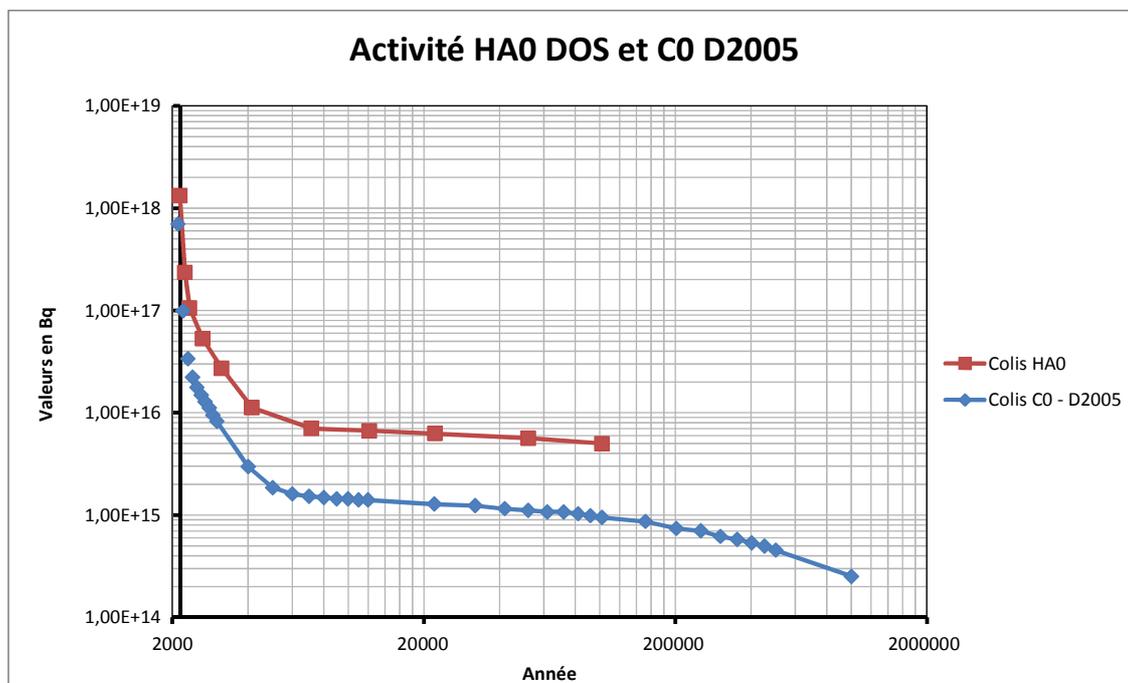
(Note Andra SURNTASAF140018/B - [115])

Causes d'indisponibilité de certains inventaires	Familles de colis du PIGD concernées
Dossiers de connaissances manquants	AND-000 CEA-450, CEA-460, CEA-1140, COG-450, COG-460, COG-480, COG-490, COG-500, COG-510, COG-520, COG-530, COG-540, COG-550, COG-830, COG-850, COG-860, COG-870, COG-880, COG-890 et COG-900 EDF-100, EDF-110, EDF-120 et EDF-250
Evolutions de conditionnement prévues dans le PIGD indice D remettant en cause les inventaires radiologiques à l'échelle des colis présentés dans les dossiers de connaissances	CEA-200, CEA-232, CEA-380, CEA-410, CEA-420, CEA-430, CEA-1151, CEA-1152, CEA-1190 et CEA-1200
Périmètre de familles ayant évolué entre le dossier de connaissances et le PIGD indice D	CEA-080, CEA-120, CEA-140, CEA-150, CEA-320, CEA-360, CEA-370 CEA-400, CEA-410, CEA-420, CEA-430, CEA-480, CEA-1020, CEA-1021, CEA-1050, CEA-1090, CEA-1110, CEA-1151, CEA-1152, et CEA-1120. COG-200, COG-470 et COG-800. EDF-090. ITER-010

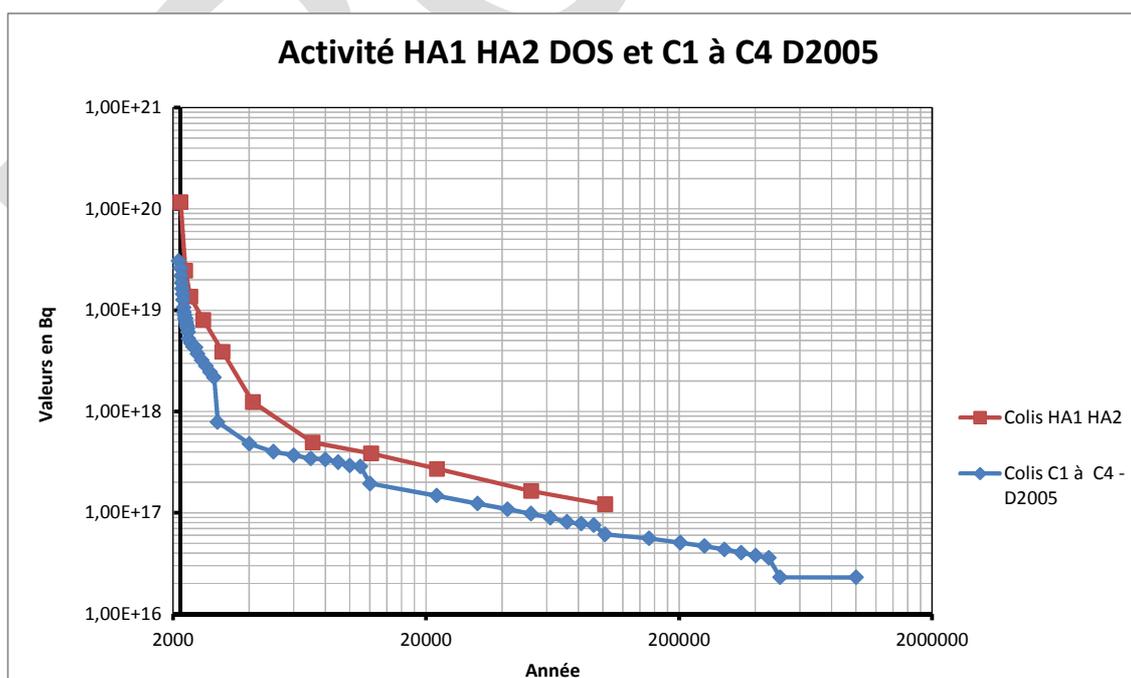
	Dossiers manquants					
	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )	%/ total nb	%/ total vol	%/Catég nb	%/Catég vol
HAVL	1 471	266	0,63%	0,32%	2,63%	2,64%
MAVL	15 239	10 244	6,6%	12,2%	8,66%	13,92%
	Evol remett cause les IR					
	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )	%/ total nb	%/ total vol	%/Catég nb	%/Catég vol
HAVL	88	16	0,04%	0,02%	0,16%	0,16%
MAVL	2 268	650	1,0%	0,8%	1,29%	0,88%
			8,22%	13,36%		
	Evol impac inv chim					
	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )	%/ total nb	%/ total vol	%/Catég nb	%/Catég vol
HAVL	-	-	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MAVL	42 140	14 362	18,2%	17,2%	23,95%	19,51%
	Evolution de périmètre					
	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )	%/ total nb	%/ total vol	%/Catég nb	%/Catég vol
HAVL	43 070	7 753	18,56%	9,26%	76,87%	76,98%
MAVL	40 561	5 244	17,5%	6,3%	23,05%	7,12%
			36,05%	15,53%		
bitumes	28 831	10 956	12,4%	13,1%	16,38%	14,88%
	Intersection évol périmètre et impact inv chim					
	Nombre de colis	Volume (m <sup>3</sup> )	%/ total nb	%/ total vol	%/Catég nb	%/Catég vol
HAVL	-	-	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MAVL	25 599	9 517	11,03%	11,37%	45,69%	94,49%

## T8. COMPARAISON DES ACTIVITES RETENUES DANS L'INVENTAIRE DE REFERENCE DU DOS ET DU « DOSSIER 2005 »

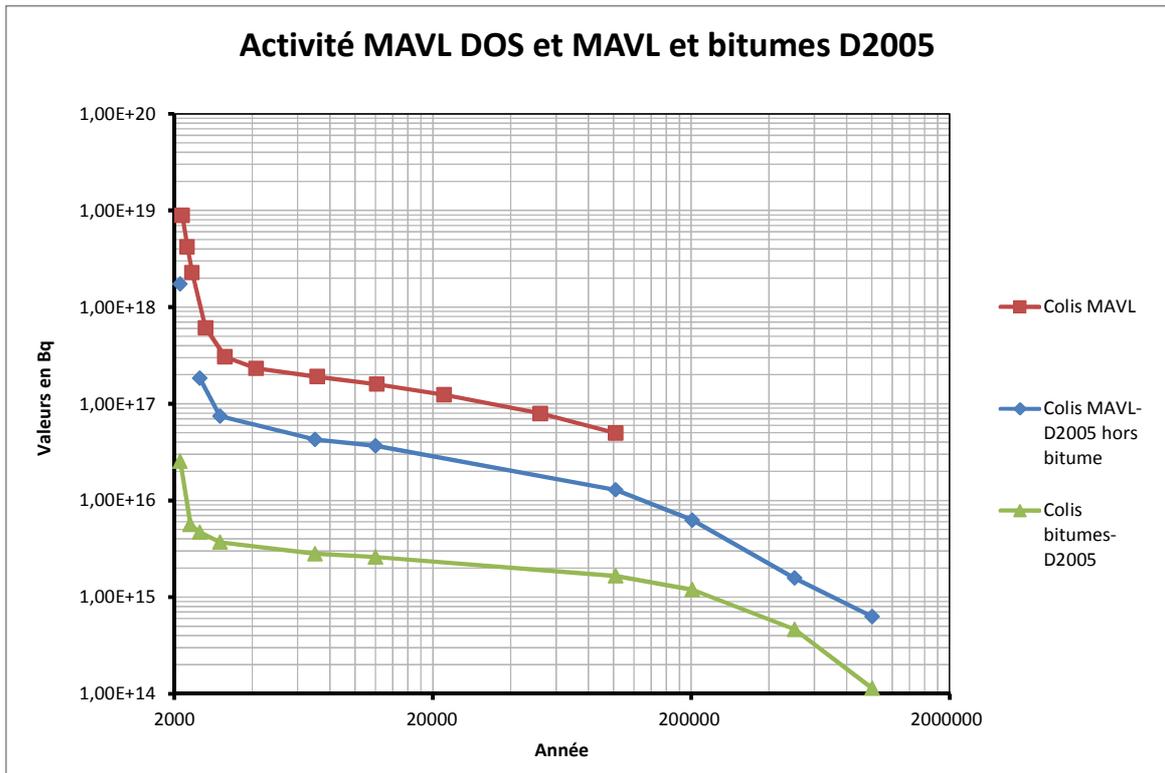
Activités totales en Bq des colis HA0 et C0, en fonction du temps, obtenues pour l'inventaire de référence au stade du DOS et du « Dossier 2005 »



Activités totales en Bq des colis HA1/HA2 et C1 à C4, en fonction du temps, obtenues pour l'inventaire de référence au stade du DOS et du « Dossier 2005 »



Activités totales en Bq des colis MAVL, en fonction du temps, obtenues pour l'inventaire de référence au stade du DOS et du « Dossier 2005 »



## T9. VOLUME DE COLIS CORRESPONDANT AUX EMPILEMENTS GRAPHITES D'EDF ET DU CEA

(Note Andra CGNTADPG150006/A - Adaptabilité « réserves » - [48])

Déchets	Identifiants	Volume de colis (m <sup>3</sup> )
Empilements du CEA	CEA-3010	2 610
	CEA-3021	1 618
	CEA-3022	1 218
	CEA-3031	1 618
	CEA-3032	1 218
	CEA-3040	131
	CEA-3050	113
	CEA-3080	35
	<b>Total</b>	<b>8 561</b>
Empilements d'EDF	EDF-3011	7 830
	EDF-3012	2 001
	EDF-3021	9 231
	EDF-3022	2 514
	EDF-3031	9 561
	EDF-3032	3 054
	EDF-3040	4 350
	EDF-3050	8 526
	EDF-3060	10 353
	<b>Total</b>	<b>57 420</b>
<b>Total</b>	<b>65 981</b>	

## T10. TYPOLOGIES DE COMBUSTIBLES CONSIDEREES DANS LES ETUDES D'ADAPTABILITE DU STOCKAGE AUX COMBUSTIBLES USES

(Note Andra CRPADPG150013/A - Adaptabilité « combustibles nucléaires usés » - [47])

Type de combustible	Enrichissement initial (Ei)	Irradiation
REP UOX courts 100 % irradiés	3,7 % en <sup>235</sup> U (UOX2)	45 GWj/tML en moyenne
REP UOX longs 100 % irradiés	4,5 % en <sup>235</sup> U (UOX3)	55 GWj/tML en moyenne
REP URE courts 100 % irradiés	4,2 % en <sup>235</sup> U	45 GWj/tML en moyenne
REP UOX et URE sous irradiés (combustibles des derniers cœurs et réserves de gestion[1])	4,5 % en <sup>235</sup> U (UOX3)	25 GWj/tML
REP MOX (G1)	5,3 % en Pu	48 GWj/tML en moyenne
REP MOX (G2)	7,08 % en Pu	48 GWj/tML en moyenne
REP MOX (G3)	8,65 % en Pu	48 GWj/tML en moyenne
REP MOX (G4)	9,54 % en Pu	48 GWj/tML en moyenne
RNR MOX-SPX longs fertiles neuf		Non irradiés
RNR-MOX-SPX longs fertiles		15 GWj/tML en moyenne
RNR MOX-SPX longs fissiles neufs		Non irradiés
RNR MOX-SPX longs fissiles		15 GWj/tML en moyenne

## T11. SIMULATIONS HYDROGÉOLOGIQUES IRSN

L'IRSN a réalisé des simulations hydrogéologiques qui montrent qu'il est possible d'obtenir des valeurs plus proches de celles mesurées que ce qui est présenté par l'Andra (écarts moyens entre valeurs mesurées et simulées de 0,7 m pour l'Oxfordien supérieur ainsi que pour l'Oxfordien moyen et de 0,5 m pour le Dogger, cf. Tableau T-11 ci-dessous), avec une paramétrisation différente de celle de l'Andra. L'IRSN simule en outre une charge de 285 m NGF au niveau de la source du Rongeant dans les deux niveaux de l'Oxfordien, à comparer avec une cote comprise entre 275 et 280 m NGF, tandis que dans les simulations de l'Andra, la piézométrie simulée est de l'ordre de 305 m NGF dans l'Oxfordien moyen.

	Charge Oxfordien (m NGF)					Charge Dogger (m NGF)		
	Mesurée	Oxf. Sup Calculée	Écart	Oxf. Moy Calculée	Écart	Mesurée	Calculée	Écart
<b>MSE101</b>	256	256	0	256	0	285	284	1
<b>EST107/HTM102</b>	318	317	1	317	1	290	290	0
<b>EST103/EST210/Labo</b>	305	304	1	304	1	290	290	0
<b>EST311/EST312</b>	264	264	0	264	0	296	295	1
<b>EST342</b>	196	196	0	196	0	251	253	2
<b>EST321/EST322</b>	268	270	2	270	2	273	273	0
<b>EST331</b>	320	320	0	320	0			
<b>EST351</b>	272	272	0	272	0			
<b>EST411/EST412</b>	270	271	1	271	1	293	293	0
<b>EST421/EST422</b>	254	256	2	256	2	288	288	0
<b>EST431/EST432</b>	266	264	2	264	2	286	286	0
<b>EST451/EST452</b>	217	217	0	217	0	267	267	0
<b>EST461/EST462</b>	305-310	308	0	308	0	275	277	2
<b>Ecart moyen</b>			<b>0,7</b>		<b>0,7</b>			<b>0,5</b>
<b>Source du Rongeant</b>	275-280	285*	5	285*	5			

(\* cote NGF de la source)

**Tableau T11 : Résultats du calage par l'IRSN**

Ces simulations mettent en évidence des vitesses d'écoulement comprises entre 15 et 30 km par 100 ka pour l'Oxfordien dans la zone de transposition, soit d'un ordre de grandeur plus rapides que pour l'Andra, et comprises entre 0,1 et 0,5 km par 100 ka pour le Dogger (Bathonien) dans la zone de transposition, soit d'un ordre de grandeur plus lentes.

En outre, ces simulations mettent en évidence, pour l'aquifère de l'Oxfordien, un exutoire local au niveau de la Meuse, atteint au bout de 50 ka environ (cf. figure T-11), ainsi que des exutoires pour l'aquifère du Barrois au niveau de la Saulx et de la Marne (avec des temps de transferts de l'ordre de 100 ka), après que les écoulements dans l'Oxfordien aient rejoint les zones de failles et soient remontés dans cet aquifère. Ces simulations de l'IRSN ne mettent en revanche pas en évidence d'exutoire pour la formation du Dogger.



## **T12. CONTROLES DES COLIS PREVUS**

La gestion des colis implique des activités nécessaires à leur réception et des activités d'exploitation de Cigéo. Ces activités sont structurées en deux processus : un processus d'acceptabilité et un processus opérationnel de conduite (Note Andra CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060 - DOS-Expl [39]). Chacun de ces deux processus inclut des contrôles des différents composants impliqués dans la vie du colis : l'emballage de transport, le colis primaire, le conteneur de stockage et le colis de stockage. Ces contrôles peuvent être prévus dans le flux d'exploitation de Cigéo, hors du flux d'exploitation de Cigéo ou encore pour des opérations de retrait de colis.

### **Contrôles prévus dans le flux d'exploitation**

Pour rappel (cf. chapitre 2.6 du présent rapport), après déchargement des emballages de transport dans des halls de réception, les colis primaires en sont extraits dans un bâtiment de déchargement. Les colis primaires sont ensuite transférés dans le bâtiment de conditionnement pour introduction dans un conteneur de stockage puis fermeture du conteneur. L'ensemble constitué par le(les) colis primaire(s) et son(leur) conteneur constitue un colis de stockage (CS) qui sera acheminé ensuite en alvéole de stockage. Le présent chapitre est axé sur les contrôles réalisés dans le flux d'exploitation de Cigéo (Note Andra CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060 - « DOS-Expl » [39])

Les emballages de transport des colis primaires, acheminés par convois ferroviaires ou routiers, font l'objet à réception sur Cigéo d'un contrôle administratif (C1) ainsi que d'un contrôle externe de la contamination (C2). Après retrait des capots de protection des emballages, un contrôle du débit de dose et de la contamination externe (C3) est réalisé. L'Andra précise qu'en cas de contamination détectée, l'emballage fait l'objet d'une décontamination dans le local de traitement situé à proximité du hall de chargement/déchargement avant d'être acheminé dans la zone tampon des emballages pleins pour réinsertion dans la chaîne de déchargement classique. De plus, un contrôle de non contamination de la cavité interne des emballages (C4) est effectué avant déchargement des colis primaires qui sont transférés jusque dans les cellules de contrôles (C5).

A ce stade du projet, l'Andra envisage un contrôle visuel de l'aspect extérieur du colis primaire (incluant un contrôle de son numéro d'identification), un contrôle dimensionnel et une pesée (pour s'assurer de la masse réelle du colis et évaluer le taux de vide après contrôles complémentaires), un contrôle de non contamination par frottis et un contrôle du débit de dose (visant à réaliser une cartographie de mesures de débit de dose au contact et à 1 mètre). Ces contrôles visent notamment à s'assurer que le colis est bien conforme aux spécifications d'acceptation des colis primaires à Cigéo (cf. chapitre 3.1.6 du présent rapport). En cas de contamination détectée, le colis primaire pourrait faire l'objet d'une décontamination à sec par un robot ou par aspersion d'eau à haute pression. *In fine*, si le colis primaire est jugé non conforme il est placé dans une zone tampon « CP non conformes ». En revanche, si le colis primaire est jugé conforme, il est placé en zone tampon « CS non confectionnés » avant d'être placé dans un conteneur de stockage.

Ces derniers font l'objet de contrôles en usine pour détecter un éventuel défaut. Le contrôle qualité prévu pour les conteneurs de stockage MAVL en béton comprend des contrôles de la qualité des matières premières utilisées, des mesures de la résistance mécanique et du retrait sur éprouvettes, des contrôles de la géométrie et de la masse, des vérifications de la qualité du parement et des critères d'acceptation en termes de bullage et de défauts de surface ainsi que des vérifications visuelles de l'absence d'éclat ou d'épaufrure. L'Andra ne précise pas les contrôles envisagés sur les conteneurs de stockage MAVL en acier. Le contrôle qualité sur les pièces du

conteneur de stockage HA prévoit quant à lui un examen visuel de chaque pièce, un contrôle dimensionnel après usinage final et un contrôle par ultrasons à 100% du volume. Après soudage, des contrôles par ultrasons (pour la détection d'éventuels défauts de type manque de fusion, fissures et cavités internes) et des contrôles par ondes rampantes ou par courants de Foucault (pour la détection d'éventuels défauts de surface) sont prévus. Par ailleurs, des contrôles sont également réalisés sur les patins en céramique des conteneurs de stockage HA afin de s'assurer de leur conformité en termes de matière, de géométrie et de caractéristiques mécaniques. A réception sur l'installation Cigéo, tous les conteneurs de stockage font l'objet d'un contrôle de conformité. Les conteneurs jugés conformes sont transférés vers les zones tampon tandis que ceux jugés non conformes sont renvoyés vers les sites fabricants.

Après conditionnement des colis primaires en conteneurs de stockage, les colis de stockage sont acheminés vers des postes de contrôles (C6). L'Andra prévoit un contrôle visuel (incluant une vérification du numéro d'identification) ainsi qu'un contrôle dimensionnel et une pesée (pour s'assurer de la masse réelle du colis et, dans le cas des colis de stockage MAVL évaluer le taux de vide). En sus, l'Andra envisage pour les colis de stockage HA le contrôle des soudures par ultrasons afin de vérifier l'obtention d'une soudure « pleine épaisseur de virole » sans défaut entre le couvercle et le corps du conteneur de stockage. Les colis de stockage sont ensuite positionnés dans une zone tampon « CS confectionnés » en attente de transfert vers l'installation souterraine ou, le cas échéant, en zone tampon « CS non conformes ». L'Andra précise en outre que les colis de stockage MAVL ayant fait l'objet d'un clavage (dans le cas où cette option technique serait retenue) sont entreposés en attente de mûrissement du liant. Avant d'être introduits en hotte de transfert et acheminés vers l'installation souterraine, les colis de stockage sont transférés vers un poste de contrôles (C7) (contrôles de débit de dose, de contamination surfacique, d'intégrité et d'identification du colis de stockage). Une zone de remise en conformité des colis de stockage MAVL est prévue de sorte à accueillir les colis jugés en écart. Si nécessaire, ceux-ci sont peuvent alors être décontaminés avant d'être mis en hotte de transfert.

Pour ce qui concerne en particulier les combustibles nucléaires usés, l'Andra précise ([Note Andra CRPADPG150013/A - « Adaptabilité CU »](#) [47]) que des contrôles sont réalisés tout au long des opérations. Les vérifications prévues sur les emballages de transport, les colis primaires, les conteneurs de stockage et les colis de stockage sont les mêmes que pour les colis de déchets de l'inventaire Cigéo. En complément, l'Andra mentionne ([Note Andra CRPADPG150013/A - « Adaptabilité CU »](#) [47]) des contrôles du colis primaire de combustible usé par spectrométrie gamma et comptage neutronique dans un puits de mesure.

### **Contrôles prévus en dehors du flux d'exploitation**

L'Andra envisage de procéder à des contrôles par prélèvement en dehors des opérations de conditionnement des colis dans le flux d'exploitation. Les cellules associées à ces contrôles sont situées dans le bâtiment de contrôle par prélèvement, de gestion des non-conformités et de gestion des déchets. L'Andra indique que les types de mesures seront précisés suite à la réflexion en cours avec les producteurs de déchets visant à garantir la qualité des colis, en fonction des dispositions qui seront mises en œuvre dans leurs propres installations, avant expédition des colis primaires vers Cigéo. A la fin du processus de contrôle, les colis rejoindront le flux d'exploitation ou seront dirigés vers les cellules de gestion des non conformités, situées dans le même bâtiment, pour un traitement adapté.

L'Andra prévoit par ailleurs la possibilité de reconditionner (dans la cellule de chargement des colis primaires en conteneurs de stockage) des colis primaires issus des cellules de déconditionnement des colis de stockage non conformes, hors du flux nominal. Les contrôles envisagés sur ces colis primaires comprennent des contrôles visuels (afin de rechercher les défauts tels que des fissurations, des éclats, des perforations, des zones corrodées), des contrôles dimensionnels et une pesée (pour s'assurer de la masse réelle du colis de déchets et contrôler le taux de vide), un contrôle de non-contamination ainsi qu'un contrôle du débit de dose (visant à réaliser une cartographie de mesures de débit de dose au contact et à 1 mètre).

### **Contrôles lors du retrait des colis**

Pour ce qui concerne les contrôles prévus sur les colis de stockage MAVL en cas de retrait de l'alvéole de stockage (cf. chapitre 7.2.2.4 du présent rapport), l'Andra indique ([Note Andra CG-TE-D-NTE-AMOA- RVO-0000-15-0059 - « DORec » \[42\]](#)) qu'un contrôle de non-contamination peut être réalisé à l'aide d'un bras robotisé dès l'arrivée du colis de stockage dans le sas de manutention. S'il est contaminé, l'activité labile présente à sa surface pourrait être « fixée » au moyen d'un équipement dédié avant son introduction dans la hotte de transfert.

## T13. ETUDE THERMIQUE DE LA REPONSE D'UN COLIS DE STOCKAGE A UN FLUX THERMIQUE ENVELOPPANT

Les essais sous feu normalisé (ISO R834) durant 1 heure réalisés par l'Andra sur un conteneur de type B2.1 réalisés par l'Andra montrent que les valeurs de 50, 100 et 150 °C sont atteintes dans un ordre de grandeur se situant de l'ordre d'une à deux heures (Note Andra CG-TE-D-NSY-AMOA-SR1-0000-14-0116 [102]). Dans le but d'évaluer les effets thermiques d'une agression d'une durée supérieure à 1 heure, l'IRSN a réalisé des calculs thermiques d'un colis de stockage soumis à un flux externe enveloppant. L'IRSN a également étudié la propagation thermique vers les colis de stockage adjacents d'un colis de stockage impacté par un incendie et siège d'emballlements thermiques.

Pour modéliser le comportement thermique de ce colis de stockage, l'IRSN a utilisé le code CFD<sup>3</sup> ISIS de l'IRSN (version 4.5.0) dédié à la simulation d'incendie. Les scénarios étudiés, l'ensemble des hypothèses et les résultats obtenus ont fait l'objet d'échanges techniques avec l'Andra au cours de l'instruction. La présente annexe synthétise les éléments issus de ces échanges techniques.

Les scénarios étudiés sont les suivants (voir figure T12-1 ci-dessous) :

- S1 : analyse du comportement d'un colis de stockage soumis à un flux externe enveloppant ;
- S2 : analyse de la propagation d'une onde thermique entre deux colis de stockage suite à la reprise des réactions exothermiques dans un colis primaire.

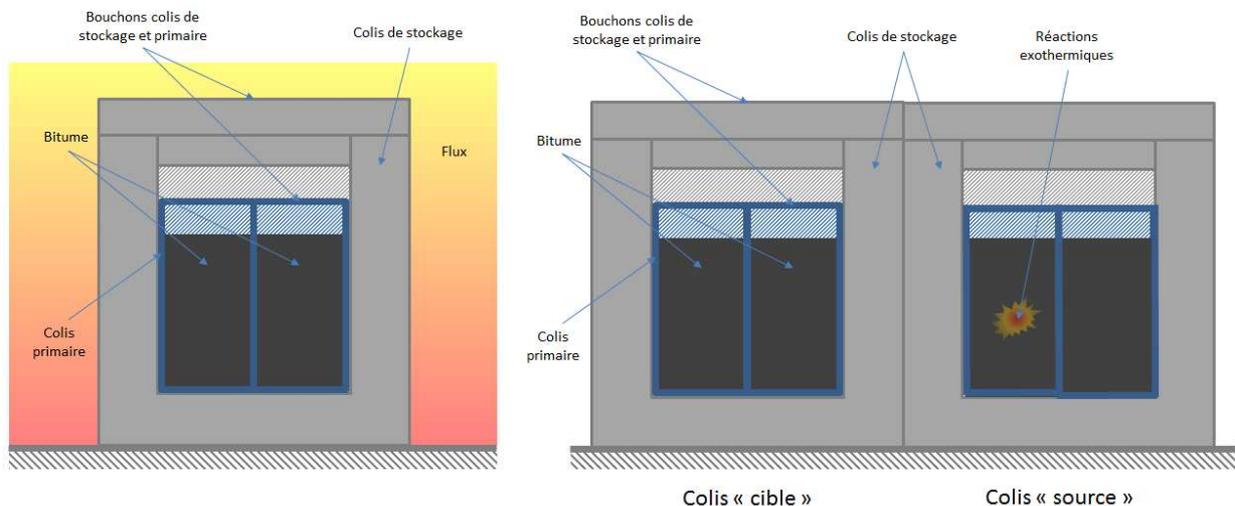


Figure T13-1 : configuration de calcul S1 (à gauche) et S2 (à droite)

Afin de ramener la problématique à une modélisation thermique, les hypothèses simplificatrices suivantes ont été prises :

- la source de chaleur (emballage thermique) est déduite des résultats du programme expérimental quadripartite sur les essais à petite échelle de microcalorimétrie. Ainsi, le dégagement de chaleur  $P$  ( $\text{kW}/\text{m}^3$ ) est modélisé avec la formule :

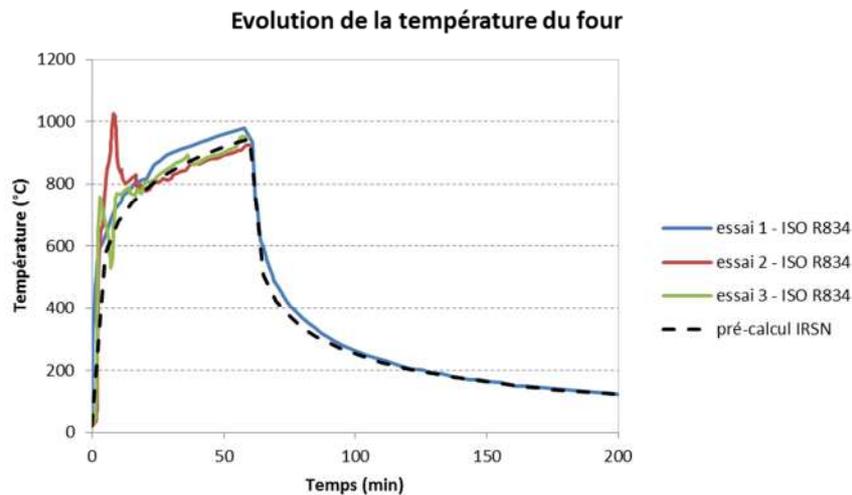
<sup>3</sup> CFD : computational fluid dynamics - mécanique des fluides numériques.

$$P = P_{\max} [ \tanh\{ 0,03(T - T_{\min}) \} - \tanh\{ 0,03(T - T_{\max}) \} ]$$

$P_{\max}$  représente la puissance maximale dégagée ( $\text{kW/m}^3$ ) et  $T_{\max} - T_{\min}$  la plage de température où la chaleur est dégagée (K) ;

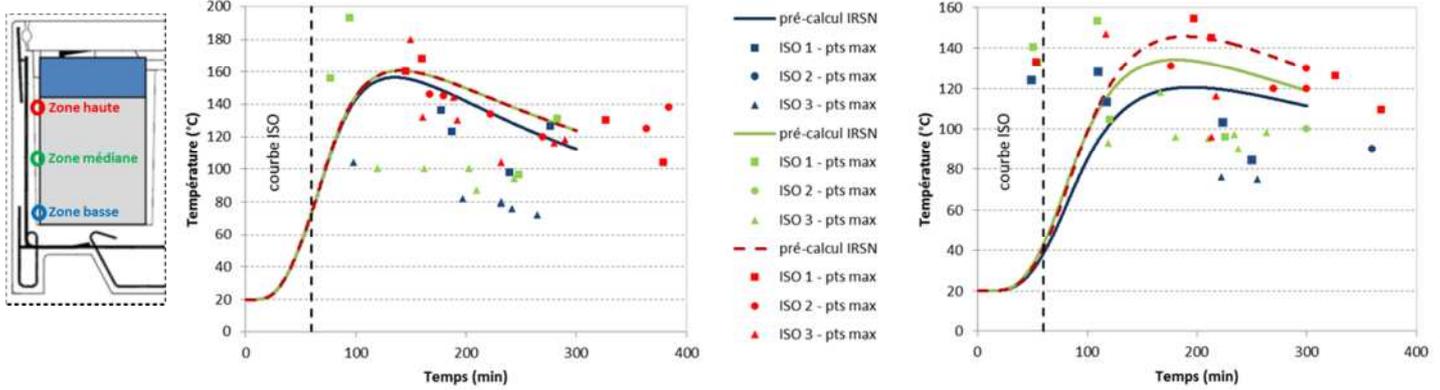
- les lames d'air sont négligées (i.e. les colis de stockage sont accolés ; les colis primaires, supposés parallélépipédiques, sont en contact direct entre eux et avec le colis de stockage) ;
- les matériaux sont supposés avoir des caractéristiques homogènes et la géométrie des colis de stockage et des colis primaires est supposée inchangée au cours du temps ; les propriétés thermodynamiques (densité, capacité calorifique, conductivité thermique et émissivité) standards de la littérature ont été retenues pour l'acier, le béton [a] et le bitume ;
- la liquéfaction du bitume, conduisant à la ségrégation des boues, et l'ébullition du bitume ne sont pas pris en compte.

Afin de valider la modélisation du colis de stockage avec ISIS (simplifications géométriques, propriétés des matériaux, maillage...), un pré-calcul prédictif, reproduisant les essais de l'Andra sous feu normalisé ([Note Andra CG-TE-D-NSY-AMOA-SR1-0000-14-0116](#) [102]), a été réalisé. Dans ce calcul, le modèle de CtS retenu est le B2.1 conformément au conteneur retenu par l'Andra pour les essais du programme quadripartite à l'échelle 1. Le stress thermique appliqué au colis de stockage est imposé par une température extérieure uniforme décrivant la courbe ISO R834 durant la première heure puis décroissant exponentiellement ; la figure ci-dessous présente l'évolution de la température dans les essais de l'Andra et le stress thermique retenu dans le pré-calcul.



**Figure T13-2** : Evolution de la température du four lors des essais Andra vs pré-calcul IRSN

Pour un logement de colis de stockage contenant un colis primaire rempli de bitume, les figures suivantes comparent, à 3 altitudes différentes, l'évolution de la température en peau de colis primaire et en peau de logement du colis de stockage calculée aux valeurs maximales mesurées expérimentalement par l'Andra.



**Figure T13-3 :** comparaison de la température en paroi de logement (à gauche) et en peau de colis primaire (à droite) entre les essais sous feu conventionnel et le pré-calcul IRSN.

Compte tenu des hypothèses simplificatrices retenues, ce pré-calcul confirme le bon accord global entre les résultats expérimentaux et la modélisation d'un colis de stockage dans ISIS malgré la disparité de ces résultats.

Pour les simulations des scénarios S1 et S2, deux modèles de conteneurs de stockage ont été retenus :

- le conteneur de stockage de type B2.1, présentant des parois latérales en béton de 10 cm d'épaisseur ;
- le conteneur de stockage de type CS4 ; présentant des parois latérales en béton de 20 cm d'épaisseur.

L'influence du critère de température minimale de reprise des réactions exothermiques a été étudiée avec les valeurs de 50, 100, 150 et 200 °C.

Pour la simulation du scénario S1, le flux thermique appliqué correspond à un flux de flamme à 927 °C (1200 K) constant. Pour cette simulation, le tableau suivant montre les délais d'atteinte, en peau de colis primaire, des quatre températures minimales d'emballement retenues.

Critère de reprise des réactions (°C)	Conteneur	50	100	150	200
Délai minimal d'atteinte en peau de colis primaire	B2.1	≈ 1 h	≈ 1 h 30 min	≈ 2 h	≈ 2 h 30 min
	CS4	≈ 2 h	≈ 3 h 20 min	≈ 4 h 50 min	≈ 6 h 30 min

**Tableau T13-1 :** Délais d'atteinte de températures repères en peau de colis primaire - simulations S1

Pour la simulation du scénario S2, un sous-volume de bitume dans le colis de stockage « source » est initialisé à la température minimale d'emballement thermique à la suite d'une agression thermique. Cette zone pré-emballée étant appelée à s'élargir, le calcul est continué suffisamment longtemps pour déterminer le délai d'atteinte en peau des colis primaires dans le colis de stockage « cible » de cette température minimale. Une puissance maximale  $P_{\max}$  de 200 kW/m<sup>3</sup> et une plage de température  $T_{\max} - T_{\min} = 500$  K, représentative des essais de microcalorimétrie, sont retenues. Pour des températures minimales d'emballement de 100 et 150 °C, le tableau suivant montre les délais d'atteinte de ces températures en peau de colis primaire dans le colis de stockage « cible », estimés par cette simulation.

Critère de reprise des réactions ( °C)	Conteneur	100	150
Délai minimal d'atteinte en peau de colis primaire	B2.1	≈ 16 h	≈ 35 h
	CS4	≈ 38 h 30 min	N/C <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Valeur non calculée.

**Tableau T13-2 : Délais d'atteinte de températures minimales d'emballement thermique en peau de colis primaire dans le colis de stockage « cible » - simulations S2**

**Références spécifiques à l'annexe T12 :**

- [a] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3<sup>rd</sup> edition (2002), National Fire Protection Association

## T14. COLMATAGE DES FILTRES EN CAS DE FEU D'ENROBES BITUMEUX

Pour modéliser l'évolution du colmatage d'un filtre en cas de feu d'enrobés bitumeux, l'IRSN a utilisé un modèle établi empiriquement. Ainsi, à tout instant, le ratio entre la résistance aéraulique du filtre colmaté (R) et la résistance aéraulique du filtre neuf (R<sub>0</sub>) satisfait la relation :

$$\frac{R}{R_0} = 1 + 0,6 \left( \frac{M_s}{S_f} \right)^{1,1}$$

Où M<sub>s</sub> représente la masse d'aérosols à filtrer (g) et S<sub>f</sub> la surface de filtration (m<sup>2</sup>).

Pour évaluer la surface de filtration nécessaire pour filtrer l'incendie d'un fût d'enrobés bitumeux, l'IRSN a retenu les hypothèses simplificatrices suivantes :

- la surface de combustion est prise égale au diamètre du fût, soit un diamètre de 595 mm, et la quantité d'enrobés bitumeux à brûler est d'environ 200 kg ;
- le débit de pyrolyse du bitume est constant et fixé 33 g/m<sup>2</sup>/s, soit la valeur maximale observé expérimentalement dans les essais de pyrolyse d'enrobés réalisés entre 1986 et 1989 à l'IPSN ;
- le taux de production de suies est constant et fixé à 0,163 g/g ;
- le dépôt des suies dans le local est considéré constant et forfaitairement fixé à 80 % ;
- le dépôt des suies en conduit est négligée et le débit d'air à travers le filtre est constant ;
- le ratio R/R<sub>0</sub> à ne pas dépasser pour considérer que le filtre est intègre est fixé à 10.

La durée nécessaire pour brûler l'intégralité de l'enrobé bitumeux est d'environ 370 minutes (6 heures et 10 minutes). Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus en fonction du temps.

Temps (min)	Masse de suies produites (kg)	Masse de suies déposés (kg)	Surface de filtration nécessaire - R/R <sub>0</sub> = 10 (m <sup>2</sup> )
20	1,79	0,36	31
40	3,59	0,72	61
60	5,38	2,40	92
100	8,97	3,45	153
200	17,95	3,59	306
300	26,92	5,38	459
370	33,20	6,64	566

Tableau T14-1

## T15. SITUATIONS RETENUES PAR L'ANDRA AU STADE DU DOS

(Rapport Andra CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060 - DOS-Expl - [39] et éléments transmis au cours de l'instruction)

Situations incidentelles (de dimensionnement)				
	Local/zone	Scénario	n°	Estimation des conséquences
Surface	<u>Hall de déchargement des convois</u>	<u>Chute d'un emballage de transport de 2 m (erreur humaine)</u>	<u>11</u>	<u>&lt;&lt; 1 mSv</u>
	Hall de réception des emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H)	Chute d'un emballage de transport de 1,2 m (erreur humaine)	12	
	Parc à hotte	Collision/renversement d'une hotte	13	
Fond	ZSL	Collision/renversement d'une hotte	14	

Situations accidentelles de dimensionnement				
	Local/zone	Scénario	n°	Estimation des conséquences
Surface	Bâtiment procédé	Chute d'un avion militaire	A1	
	Puits d'extraction de l'air vicié de l'installation souterraine	Chute d'un avion de l'aviation générale	A2	
	Hall de déchargement des convois et hall de réception n°3 des emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H)	Incendie du camion impliquant un ET	A3	
	Hall de réception des emballages de transport à déchargement vertical (ET-V)	Chute d'un emballage de transport de type B <6 m (défaillance du système de préhension du pont roulant)	A4	
	Hall de préparation et accostage	Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un ET type B sans capot sans couvercle	A5	
	Cellule de déchargement des emballages de transport à déchargement vertical (ET-V)	<u>Chute d'un colis primaire lors de son déchargement sur un autre colis primaire (défaillance du système de préhension du pont roulant)</u>	A6	<< 1 mSv
	Cellule de déchargement	<u>Incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle</u>	A7	< 1 mSv
	Cellules de conditionnement MAVL-HA	Incendie du chariot et du poste de conditionnement impliquant un colis de stockage non-confectionné	A8	
	Couloirs de circulation « procédé »	Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un colis de stockage	A9	
	Couloirs de circulation « procédé »	Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un colis primaire	A10	
	Cellule de mise en hotte MAVL	Chute d'un colis de stockage MAVL de 1,2 m (défaillance du système de préhension du pont roulant)	A11	
	Cellule de mise en hotte HA	Chute (3 m) ou collision d'un colis de stockage HA (défaillance du système de préhension du pont roulant)	A12	
	Fond	Gare haute du transfert incliné	Collision d'une hotte à l'interface navette/transfert incliné (mauvais alignement entre les deux)	A13
Gare basse du transfert incliné		Collision du véhicule en gare basse à petite vitesse	A14	
Galerées souterraines		Incendie du chariot impliquant une hotte	A15	
Cellule de manutention en alvéole MAVL		<u>Chute d'un colis de stockage en cellule de manutention</u>	A16	<< 1 mSv
Cellule de manutention en alvéole MAVL		<u>Incendie en cellule de manutention</u>	A17	< 1 mSv
Alvéole de stockage MAVL		Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage	A18	
Alvéole de stockage HA		Incendie du vérin-pousseur (+ chemisage acier + colis de stockage HA) en alvéole	A19	

Situations de dimensionnement du PUI				
	Local/zone	Scénario	n°	Estimation des conséquences
Surface	Bâtiment procédé	Séisme supérieur au niveau SMS	P1	
	Hall de réception des emballages de transport à déchargement vertical (ET-V)	Chute d'un emballage de transport de 6 m sans capots amortisseurs (défaillance du système de préhension du pont roulant + défaillance du dispositif amortisseur)	P2	< 5 mSv
	Cellule de déchargement	Chute de 6 m d'un colis déchargé au pont roulant dans un emballage (défaillance matérielle de la chaîne de levage + perte de confinement des colis)	P3	<< 1 mSv
	Cellule de déchargement	Incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle cumulé à la défaillance de l'extinction	P4	
	Cellule de mise en hotte MAVL	Chute de 1,2 m d'un colis de stockage (défaillance matérielle de la chaîne de levage + perte de confinement des colis)	P5	<< 1 mSv
Fond	Zone exploitation	Séisme supérieur au niveau SMS	P6	
	Gare basse du transfert incliné	Collision du transfert incliné à petite vitesse (défaillance CC ou freinage + défaillance des butoirs amortisseurs)	P7	<< 1 mSv
	Cellule de manutention en alvéole MAVL	Chute d'un colis de stockage en cellule de manutention (défaillance de l'élévateur + défaillance de l'amortisseur)	P8	<< 1 mSv
	Alvéole de stockage MAVL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage cumulé à la défaillance d'un conteneur de stockage	P9	< 10 mSv

Situations exclues		
Local/zone	Scénario	Dispositions de prévention cumulées
Hall de déchargement des convois	Perte de confinement des colis présents dans un emballage de transport en cas d'incendie du locotracteur ou du camion	Qualification de l'emballage à la réglementation transport, Système fixe d'extinction, Intervention des équipes de secours site
Hall de réception n° 3 pour emballages de transport à déchargement horizontal	Perte de confinement des colis présents dans un emballage de transport en cas d'incendie du camion	Protection apportée par l'emballage de transport, Système fixe d'extinction, Intervention des équipes de secours site
Cellule de déchargement, contrôle et mise en conteneur de stockage	Incendie du pont roulant dû à un épanchement d'huile enflammée des réducteurs et motoréducteurs au poste de déchargement des ET ou au poste de mise en conteneur de stockage avec agression du colis	Physiquement impossible par conception du pont roulant
Puits air vicié	Incendie dans le puits	Absence de charges calorifiques
Locaux de surface	Atteinte de la LIE suite à une perte de la ventilation nucléaire	Limites de production d'H <sub>2</sub> des colis primaires, Système de ventilation, Volume de dilution important apporté par les locaux, Physiquement impossible (délai d'atteinte de la LIE supérieur à 6 mois)
	Perte de la maîtrise des dégagements thermiques	Lim de la puissance thermique des colis primaires, Physiquement impossible
	Accident de criticité dans une « unité de criticité » des cellules	Limites de masse de matières fissiles par colis, Absence de déformation significative des colis dans les configurations anormales
	Irradiation importante du personnel lors de son entrée en cellules	Verrouillage des systèmes d'accès redondé
Gare haute ou basse du transfert incliné	Collision/chute de la navette de surface ou du chariot de fond sans la présence du transfert incliné	Conception du transfert incliné : interverrouillage entre alimentation des voies et détection présence de la navette ou du chariot rendant l'approche de la navette impossible en l'absence du transfert incliné
Gare basse du transfert incliné	Emballage du transfert incliné sans déclenchement de tous les systèmes de freinage conduisant à une collision à grande vitesse en gare basse	Conception du câble, Systèmes de freinage indépendants et redondants, Contrôle-commande redondé
Manutention des hottes - installations de surface et souterraine	Basculement/chute d'une hotte transportée sur un véhicule (navettes, funiculaire, chariot)	Impossibilité physique pour une hotte de basculer en descenderie (gabarit de la descenderie/gabarit hotte + transfert incliné), Redondance du verrouillage des hottes sur le transfert incliné (4 pieds)
	Atteinte de la LIE dans la hotte suite à un arrêt du procédé de manutention des hottes conduisant à son immobilisation	Limites de production d' H <sub>2</sub> des colis primaires, Conception des engins de transfert, Orifices de balayage de la hotte
Alvéole de stockage MAVL	Atteinte de la LIE suite à une perte de la ventilation nucléaire	Limites de production d'hydrogène des colis primaires, Conception ventilation + ventilateurs mobiles
	Perte de la maîtrise des dégagements thermiques	Limites puissance thermique des colis primaires, Physiquement impossible
	Irradiation aigüe du personnel lors de son entrée en alvéoles	Verrouillage des systèmes d'accès redondé
	Accident de criticité dans une « unité de criticité » des alvéoles MAVL	Limites de masse de matières fissiles par colis, Absence de déformation significative des colis dans les configurations anormales
	Perte de confinement d'un nombre important de colis de stockage MAVL stockés en alvéole avant la fin de l'exploitation	Conception des colis de stockage MAVL
	Incendie non maîtrisé dans l'alvéole conduisant à l'inflammation d'un colis de stockage et sa propagation aux colis adjacents	Limitation de la charge calorifique, Qualification au feu des conteneurs de stockage, Programme d'essais incendie
Cellule de manutention	Incendie non maîtrisé en cellule de manutention impliquant un colis de stockage	Systèmes de détection et d'extinction redondés
Installations de surface et souterraine	Perte de confinement d'un ou plusieurs colis de stockage HA lors des opérations de manutention et en alvéole de stockage avant la fin de l'exploitation	Conception des colis de stockage HA

## **T16. SCENARIOS HYPOTHETIQUES DE RETRAIT ENVISAGES PAR L'ANDRA**

(Rapport Andra CG-TE-D-NTE-AMOA- RV0-0000-15-0059 - DORec - [42])

### 1) Non-poursuite du stockage à la fin de la phase pilote

La durée nécessaire à la mise en œuvre de ce scénario serait de 3 ans (inférieure à la durée nécessaire pour la mise en place des colis).

### 2) Retrait complet de tous les colis d'un alvéole MAVL

Les opérations en support à la mise en œuvre de ce scénario seraient le remplacement éventuel et le remontage des équipements de manutention. La durée nécessaire serait au minimum de 12 mois, en l'absence d'autres opérations en cours dans le stockage.

### 3) Retrait complet de toutes les familles de colis HA0

Les opérations en support à la mise en œuvre de ce scénario seraient la remise en service des équipements de manutention et les éventuelles opérations complémentaires relatives à la corrosion (brossage et retrait de la rouille). Environ 10 ans seraient nécessaires pour achever les opérations de retrait.

### 4) Ouverture des galeries et des alvéoles scellés pour le retrait d'une famille de colis MAVL

Les opérations à réaliser seraient le déblaiement et la réouverture des quartiers, la remise en service de la ventilation et des équipements de manutention puis le retrait des colis. Environ 10 seraient nécessaires pour achever les opérations de retrait.

### 5) Ouverture des galeries et des alvéoles scellés pour le retrait de toutes les familles de colis HA0

Les opérations incluraient le déblaiement et la réouverture des quartiers HA. La mise en œuvre de ce scénario durerait environ 15 ans.

## T17. SIMULATIONS DE LA MIGRATION DE RADIONUCLÉIDES REALISEES PAR L'IRSN

En support à son examen, l'IRSN a réalisé, à l'aide du logiciel MELODIE, un modèle numérique simplifié de l'installation souterraine de Cigéo (cf. figure T16-1) qui s'appuie sur les principes généraux d'architecture du stockage définis par l'Andra au stade du DOS (dimensions des ouvrages, alvéoles de stockage borgnes, regroupement des puits, emprise du stockage...). Ce modèle a été construit dans le but d'évaluer d'une part l'influence de certaines hypothèses sur le comportement hydraulique du stockage en estimant les débits d'eaux dans les ouvrages remblayés et scellés, d'autre part sur la migration des radionucléides en quantifiant les débits molaires des radionucléides en sortie des liaisons surface/fond pour la voie de transfert par le stockage ainsi qu'au toit et au mur du Callovo-Oxfordien pour la voie de transfert par la formation hôte. Plusieurs cas de calculs ont été réalisés pour modéliser les transferts de  $^{129}\text{I}$ , du  $^{79}\text{Se}$ , du  $^{36}\text{Cl}$  et du  $^{14}\text{C}$  depuis les alvéoles de stockage de déchets MAVL et HA selon ces deux voies de transfert :

- un cas de calcul basé sur les hypothèses retenues par l'Andra pour la situation « *enveloppe* » du domaine d'évolution normale (cf. chapitre 8.2.1) considérant que tous les scellements (galeries, alvéoles et liaisons surface/fond) sont opérants. Ce cas de calcul tient compte également des remarques que l'IRSN a formulées dans le présent rapport (cas n°1), notamment concernant les paramètres hydrauliques du Callovo-Oxfordien et la solubilité du  $^{79}\text{Se}$  ;
- un cas de calcul basé sur les hypothèses du scénario « *what if-3* » de l'Andra (cf. chapitre 8.2.1) postulant la défaillance de tous les scellements de l'installation (cas n°2) ;
- une étude de sensibilité de la migration des radionucléides à un ajout supplémentaire de longueur de galerie reliant les ouvrages des liaisons surface/fond aux alvéoles de stockage du quartier MAVL (cas n°3), également sur la base du scénario « *what if-3* » postulant la défaillance de tous les scellements de l'installation.

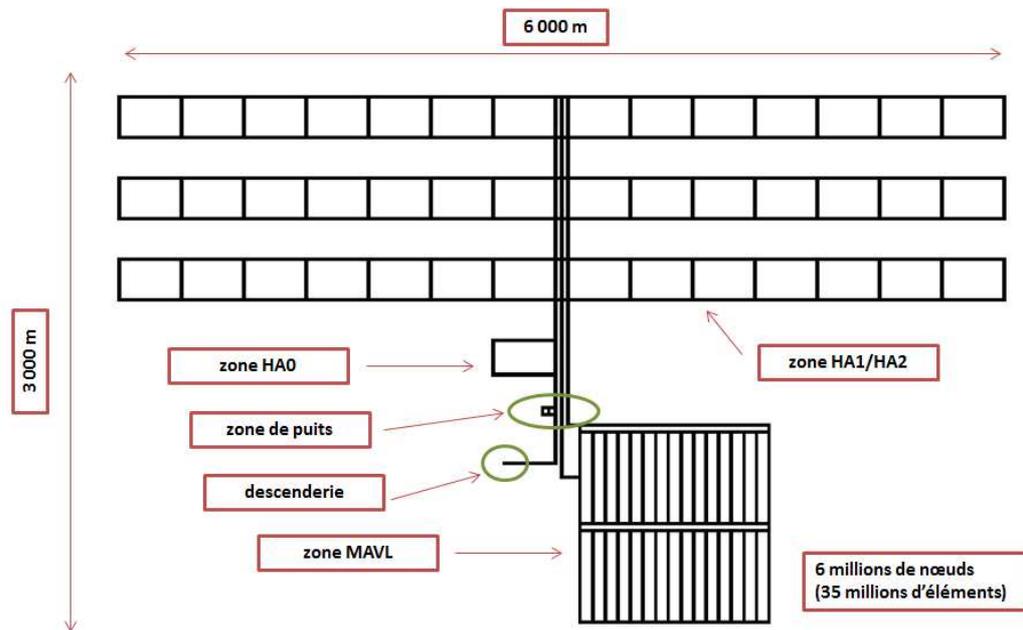


Figure T17-1 - Représentation de l'installation Cigéo dans le modèle numérique développé par l'IRSN

#### A. Cas de calcul n° 1 : tous les scellements sont opérants

L'IRSN a basé ce cas de calcul sur les valeurs de paramètre retenues par l'Andra pour définir la situation « *enveloppe* » du domaine d'évolution normale, à l'exception des hypothèses suivantes :

- une garde de 50 m de roche est fixée entre les ouvrages de l'installation et le toit du Callovo-Oxfordien ;
- le gradient de charge hydraulique vertical dans le Callovo-Oxfordien est fixé à 0,6 m/m, correspondant à la prise en compte d'une surcharge hydraulique dans le Callovo-Oxfordien, ainsi qu'un gradient de charge hydraulique horizontal uniforme dans l'Oxfordien de  $3 \cdot 10^{-3}$  m/m ;
- la valeur de la perméabilité verticale de la roche hôte est égale à  $2 \cdot 10^{-13}$  m/s et celle de la perméabilité horizontale est égale à  $4 \cdot 10^{-13}$  m/s, correspondant aux valeurs médianes de l'ensemble des mesures de perméabilités réalisées dans le Callovo-Oxfordien ;
- la valeur de la perméabilité des remblais est fixée à  $10^{-6}$  m/s (équivalente à celle des bétons du revêtement/soutènement) avec une porosité de 30 % ;
- la valeur de la perméabilité équivalente « en grand » des scellements des liaisons surface/fond et de galerie est fixée à  $10^{-10}$  m/s ;
- l'inventaire radiologique de chaque radionucléide est réparti de manière homogène, par zone de stockage, dans tous les alvéoles de cette zone
- un terme source labile pour l'ensemble des colis de déchets ;
- le  $^{79}\text{Se}$  est considéré sous sa forme oxydée Se(VI), entièrement soluble et mobile dans chacun des composants du stockage. Les autres radionucléides ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$  et  $^{14}\text{C}$ ) sont également considérés solubles et mobiles. La valeur du coefficient de diffusion effective retenue pour les calculs de transport est de  $6,5 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s pour ces quatre radionucléides.

S'agissant du comportement hydraulique du stockage, la prise en compte d'un gradient de charge hydraulique vertical ascendant conduit à obtenir des écoulements dirigés depuis les alvéoles de stockage vers les liaisons surface/fond. Les scellements, retenus comme performants dans ce cas de calcul, s'opposent à la circulation de l'eau jusqu'à la sortie des liaisons surface/fond en limitant les vitesses d'écoulement dans les galeries, ce qui se traduit par des pertes de charge hydraulique importantes au niveau des scellements et des gradients de charge hydraulique relativement faibles entre deux scellements. Pour ce cas de calcul, les débits d'eau en sortie des liaisons surface/fond sont estimés à environ 2 600 litres/an.

S'agissant des calculs de transport, l'IRSN note que, pour ce qui concerne la voie de transfert par la formation hôte, les débits molaires d' $^{129}\text{I}$  estimés au toit du Callovo-Oxfordien (cf. figure T17-2) sont supérieurs à ceux estimés au mur de cette formation d'au moins un ordre de grandeur (débit molaire maximal au toit égal à  $1.10^{-2}$  mol/an à 97 000 ans, et au mur égal à  $1,5.10^{-3}$  mol/an à 165 000 ans). Cette différence s'explique par la position de l'installation de stockage, placée dans la partie supérieure du Callovo-Oxfordien, et dans une moindre mesure au gradient de charge hydraulique ascendant imposé. Malgré cela, l'IRSN relève que, compte tenu des très faibles valeurs de perméabilité retenues pour le Callovo-Oxfordien, le transfert de  $^{129}\text{I}$  est essentiellement gouverné par la diffusion. L'IRSN note que, à l'échelle du million d'années, une grande majorité de l'activité d' $^{129}\text{I}$  stockée est transférée à travers la roche du Callovo-Oxfordien jusqu'aux encaissants (66 % par le toit jusqu'à l'Oxfordien et 12 % par le mur jusqu'au Dogger). En comparaison, la proportion d'activité d' $^{129}\text{I}$  transféré par les ouvrages jusqu'à l'Oxfordien est faible (0,5 %). A cet égard, l'IRSN note que les débits molaires estimés en sortie des liaisons surface/fond sont inférieurs d'au moins 3 ordres de grandeur ( $4.10^{-5}$  mol/an à 241 000 ans) par rapport aux débits molaires estimés au toit. Le transfert des radionucléides se fait donc majoritairement par la roche hôte.

Pour le  $^{36}\text{Cl}$ , l'IRSN observe les mêmes tendances que pour  $^{129}\text{I}$ . Les débits molaires maximaux sont de l'ordre de  $1.10^{-2}$  mol/an à 88 000 ans au toit du Callovo-Oxfordien et de l'ordre  $1,25.10^{-3}$  mol/an à 122 000 ans au mur du Callovo-Oxfordien. Les proportions d'activité transférée jusqu'à l'Oxfordien (39 %) et jusqu'au Dogger (6,5 %) sont plus faibles que celles de  $^{129}\text{I}$  du fait de la décroissance due à la demi-vie du  $^{36}\text{Cl}$  (300 000 ans). Pour ce qui concerne la voie de transfert par les ouvrages, le débit molaire maximal estimé pour le  $^{36}\text{Cl}$  est de l'ordre de  $1,9.10^{-5}$  mol/an à 171 000 ans, pour une activité de  $^{36}\text{Cl}$  estimée à la sortie des liaisons surface/fond à 0,13%.

Pour le  $^{79}\text{Se}$ , l'IRSN constate que les débits molaires maximaux sont supérieurs (estimés au toit du Callovo-Oxfordien à  $7,9.10^{-2}$  mol/an à 79 000 ans, au mur du Callovo-Oxfordien à  $9,8.10^{-3}$  mol/an à 127 000 ans et en sortie des liaisons surface-fond de l'ordre de  $1,7.10^{-4}$  mol/an à 127 000 ans) à ceux du  $^{36}\text{Cl}$  et de  $^{129}\text{I}$  d'un ordre de grandeur du fait d'un inventaire stocké plus important (39 900 moles de  $^{79}\text{Se}$  en comparaison de 4 970 moles d' $^{129}\text{I}$  et 5 800 moles de  $^{36}\text{Cl}$ ). Néanmoins, les proportions d'activité transférée en  $^{79}\text{Se}$  au toit (43 %) et au mur (8 %) du Callovo-Oxfordien ainsi qu'en sortie des liaisons surface/fond (0,14 %) sont globalement identiques au  $^{36}\text{Cl}$ , ce qui s'explique par les périodes relativement similaires de du  $^{36}\text{Cl}$  et du  $^{79}\text{Se}$  (377 000 ans).

Pour le  $^{14}\text{C}$ , la décroissance radioactive due à la faible période de ce radionucléide (5 700 ans) conduit à limiter les débits molaires maximaux estimés au toit et au mur Callovo-Oxfordien (respectivement de l'ordre de  $5.10^{-4}$  mol/an et de  $2,5.10^{-5}$  mol/an à environ 20 000 ans) et en sortie des liaisons surface/fond (débit molaire maximal

estimé de l'ordre de  $2.10^{-7}$  mol/an à 33 000 ans). En conséquence, les proportions de  $^{14}\text{C}$  relâchées dans les encaissements du Callovo-Oxfordien sont faibles (0,09 % à l'Oxfordien et 0,005 % au Dogger) et la contribution des liaisons surface/fond est négligeable (0,00004 % de la quantité initiale stockée de  $^{14}\text{C}$ ).

Les résultats du cas de calcul n°1 réalisé par l'IRSN montrent que les débits molaires estimés en sortie du Callovo-Oxfordien sont, pour tous les radionucléides étudiés, supérieurs de deux ordres de grandeur aux débits molaires estimés en sortie des liaisons surface/fond. Le transfert du  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{79}\text{Se}$  et  $^{129}\text{I}$  se fait donc essentiellement par la roche hôte et, compte tenu de la configuration choisie (dans la partie supérieure du Callovo-Oxfordien), vers l'Oxfordien. Lorsque les scellements sont considérés comme opérants lors de la phase d'après fermeture du stockage, les écoulements d'eau dans les ouvrages générés par le gradient hydraulique imposé (0,6 m/m) sont trop faibles pour favoriser le transfert des radionucléides par les ouvrages.

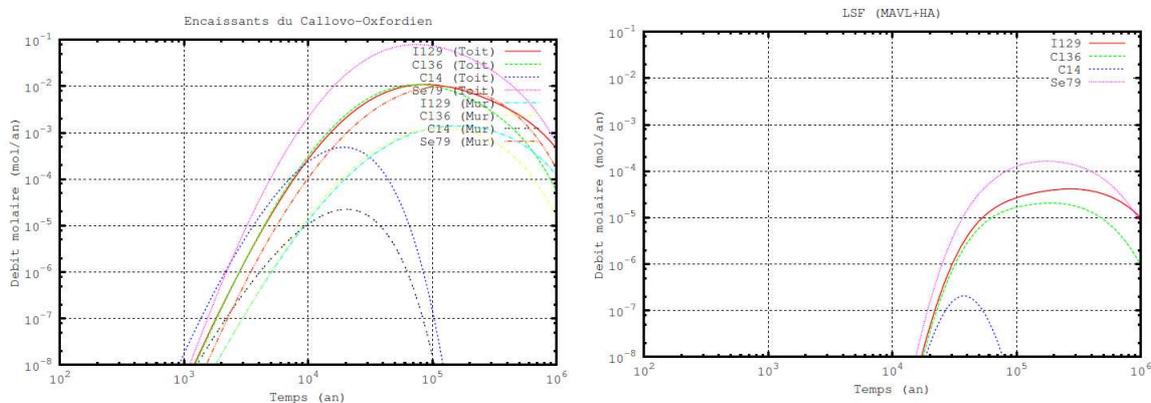


Figure T17-2 - Débits molaires (mol/an) estimés au toit et au mur du Callovo-Oxfordien (gauche) et à la sortie des ouvrages de liaisons surface/fond (droite)

### B. Cas de calcul n°2 : défaillance de tous les scellements de l'installation de stockage

Dans ce scénario, tous les scellements sont considérés défectueux et leur perméabilité, identique à celle des remblais et des bétons du revêtement et du soutènement des galeries, est fixée à  $10^{-6}$  m/s (cas n°2). Ainsi, les gradients de charge hydraulique entre les alvéoles de stockage et les ouvrages de liaisons surface/fond sont plus importants que dans le cas de calcul n°1, ce qui se traduit par des débits d'eau à la sortie des liaisons surface/fond élevés (environ 55 000 litres/an).

S'agissant du transfert des radionucléides par la roche hôte, les résultats des calculs de transport (cf. tableau T17-1) montrent les débits molaires estimés au toit et au mur du Callovo-Oxfordien sont peu affectés par la défaillance des scellements. Les débits molaires maximaux ont diminué (entre 30 et 40 % selon les radionucléides), mais restent du même ordre que les débits molaires maximaux simulés pour le cas n°1. En conséquence, la proportion des radionucléides transitant par la roche hôte a également diminué (par exemple, de 66 % à 36 % pour l' $^{129}\text{I}$  pour la sortie au toit de l'Oxfordien).

En revanche, pour la voie de transfert par les ouvrages (cf. tableau T17-1), les débits molaires sont beaucoup plus élevés que pour le cas n°1. Le débit molaire maximal estimé pour l' $^{129}\text{I}$  (cf. figure T17-3) est de l'ordre de  $9,2.10^{-3}$  mol/an (à 20 000 ans), soit plus de deux ordres de grandeurs plus élevés que le débit molaire maximal estimé dans le cas n°1. En outre, ces débits molaires maximaux dépassent ceux enregistrés pour la voie de transfert par

les ouvrages. La proportion d' $^{129}\text{I}$  transitant par cette voie représente environ 30% de la quantité initiale stockée d' $^{129}\text{I}$ , mais reste légèrement inférieure à celle estimée au toit du Callovo-Oxfordien (36 %). Les écoulements dans les ouvrages contribuent donc à drainer une grande quantité de l'inventaire radiologique vers l'Oxfordien.

Pour les autres radionucléides, cette augmentation est plus importante, compte tenu des transferts plus rapides dans les ouvrages contrariant les effets de la décroissance radioactive observés dans le cas n°1. Pour le  $^{36}\text{Cl}$ , le débit molaire maximal estimé ( $8.10^{-3}$  mol/an à 16 000 ans) est quasiment trois ordres de grandeurs supérieurs à celui estimé au cas n°1. Pour le  $^{79}\text{Se}$ , cette augmentation est de plus de deux ordres de grandeur ( $3.10^{-2}$  mol/an à 30 000 ans au lieu de  $1,7.10^{-4}$  mol/an pour le cas n°1). Pour le  $^{14}\text{C}$ , l'augmentation du débit molaire ( $2,4.10^{-2}$  mol/an à 4 000 ans) est très élevée (plus de cinq ordres de grandeur) de telle sorte que les ouvrages constituent la voie principale de transfert lorsque les scellements sont défailants. En effet, les débits molaires maximaux estimés en sortie des liaisons surface/fond dépassent de plus de deux ordres de grandeur ceux estimés au toit du Callovo-Oxfordien ( $1,5.10^{-4}$  mol/an). Les quantités de  $^{14}\text{C}$  relâchées par la voie de transfert par les ouvrages vers l'Oxfordien correspondent à une proportion faible (1,5 %) de l'activité stockée, mais leur contribution à l'impact du stockage ne peut être négligée compte tenu de l'inventaire radiologique contenu dans les colis.

En conclusion, la défaillance de tous les scellements conduit à l'établissement d'un régime convectif dans l'installation de stockage qui favorise un transfert rapide des radionucléides par les ouvrages (en quelques dizaines de milliers d'années) comparativement au transfert diffusif à travers la formation hôte (quelques centaines de milliers d'années). Pour l' $^{129}\text{I}$ , le  $^{36}\text{Cl}$  et le  $^{79}\text{Se}$ , la voie de transfert par les ouvrages draine des quantités de radionucléides pratiquement équivalentes à celles drainées par la roche hôte. Pour le  $^{14}\text{C}$ , les ouvrages constituent la voie de transfert prépondérante vers l'Oxfordien.

	Valeur du débit molaire maximal (mol/an)		Temps d'obtention du débit molaire maximal (an)		Pourcentage d'activité sortant du Callovo-Oxfordien par rapport à l'activité totale (%)	
	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur
$^{129}\text{I}$	$6.10^{-3}$	$1,2.10^{-3}$	101 000	138 000	36	9
$^{36}\text{Cl}$	$6,6.10^{-3}$	$1,3.10^{-3}$	88 500	105 000	24	6
$^{14}\text{C}$	$1,5.10^{-4}$	$2,9.10^{-5}$	20 000	20 000	0,03	0,006
$^{79}\text{Se}$	$5,3.10^{-2}$	$1.10^{-2}$	88 000	104 000	29	8

**Tableau T17-1 - Synthèse des résultats pour le toit et le mur du Callovo-Oxfordien**

	Valeur du débit molaire maximal (mol/an)	Temps d'obtention du débit molaire maximal (an)	Pourcentage d'activité sortant du Callovo-Oxfordien par rapport à l'activité totale (%)
$^{129}\text{I}$	$9,2.10^{-3}$	20 000	30
$^{36}\text{Cl}$	$7,7.10^{-3}$	16 000	17
$^{14}\text{C}$	$2,4.10^{-2}$	4 000	1,5
$^{79}\text{Se}$	$3.10^{-2}$	30 000	14

Tableau T17-2 - Synthèse des résultats pour la sortie des liaisons surface/fond

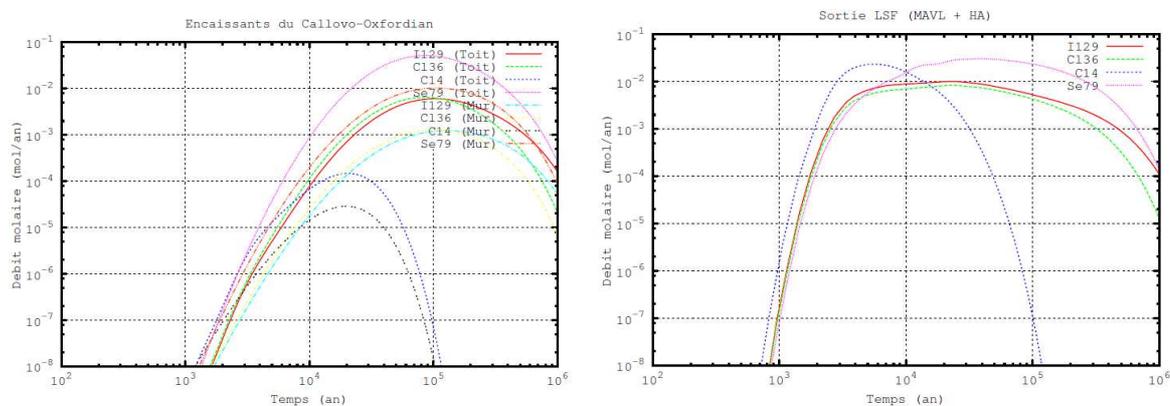


Figure T17-3 - Débits molaires (mol/an) estimés au toit et au mur du Callovo-Oxfordien et à la sortie des liaisons surface/fond pour les quartiers de stockage MAVL et HA

Comme indiqué au chapitre 8.2.3 du présent rapport, l'IRSN a évalué l'influence d'une valeur pour la perméabilité des bétons de revêtements/soutènement dans les galeries, des remblais et des scellements de  $10^{-8}$  m/s. Pour ce cas n°2b, les débits d'eau estimés en sortie des liaisons surface/fond sont égaux à environ 12 300 litres/an, soit inférieurs d'un facteur 4,5 par rapport à ceux obtenus pour le cas n°2. Ces débits d'eau restent néanmoins supérieurs d'un facteur 5 à ceux estimés dans le cas n°1 traduisant l'établissement d'un régime convectif dans les ouvrages.

Les débits molaires maximaux de tous les radionucléides estimés au toit et au mur du Callovo-Oxfordien sont plus élevés que ceux estimés au cas n°2 à des niveaux légèrement inférieurs à ceux du cas n°1 (cf. tableau T17-3). Pour la sortie des liaisons surface/fond (cf. tableau T17-4), les débits molaires maximaux estimés (cf. figure T17-4) sont inférieurs d'un ordre de grandeur à ceux estimés dans le cas n°2. Les débits molaires et les proportions d'activité estimées pour la voie de transfert par la roche hôte sont alors supérieures à ceux estimés pour la voie de transfert par les ouvrages pour l' $^{129}\text{I}$ , le  $^{36}\text{Cl}$  et le  $^{79}\text{Se}$ . La voie de transfert par la roche hôte est ainsi prédominante pour ces radionucléides. En revanche, la voie de transfert par les ouvrages reste la voie principale pour le  $^{14}\text{C}$  (relâchant uniquement 0,2 % de l'activité stockée vers l'Oxfordien).

	Valeur du débit molaire maximal (mol/an)		Temps d'obtention du débit molaire maximal (an)		Pourcentage d'activité sortant du Callovo-Oxfordien par rapport à l'activité totale (%)	
	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur
$^{129}\text{I}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	93 000	145 000	56	12
$^{36}\text{Cl}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	71 000	105 000	35	7
$^{14}\text{C}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	19 000	19 000	0,06	0,005
$^{79}\text{Se}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	73 000	118 000	41	8

Tableau T17-3 - Synthèse des résultats pour le toit et le mur du Callovo-Oxfordien

	Valeur du débit molaire maximal (mol/an)		Temps d'obtention du débit molaire maximal (an)		Pourcentage d'activité sortant du Callovo-Oxfordien par rapport à l'activité totale (%)	
	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur	Au toit	Au mur
$^{129}\text{I}$	$2 \cdot 10^{-3}$		18 000		10	
$^{36}\text{Cl}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$		16 000		4	
$^{14}\text{C}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$		8 000		0,2	
$^{79}\text{Se}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$		7 000		2	

Tableau T17-4 - Synthèse des résultats pour la sortie des liaisons surface/fond

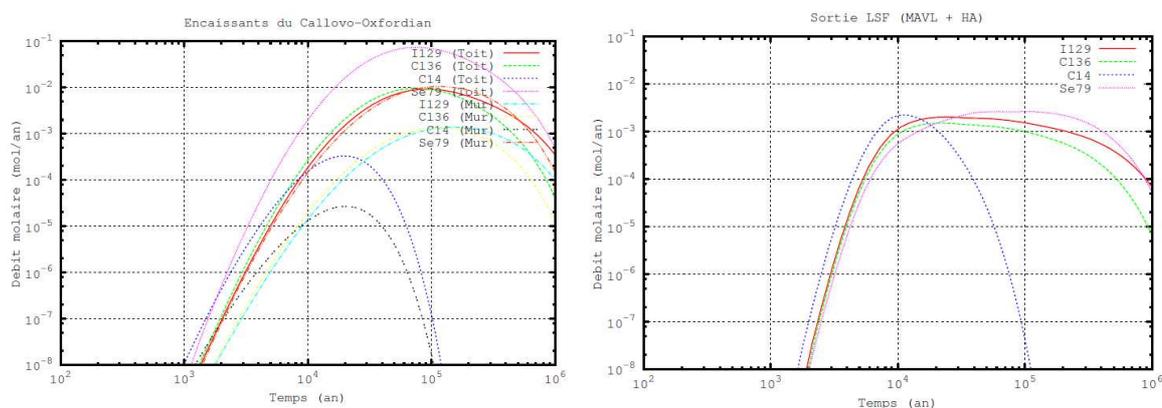
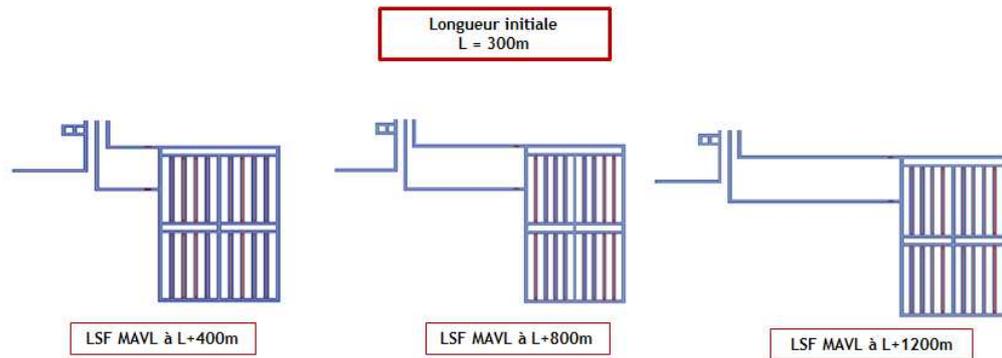


Figure T17-4 - Débits molaires (mol/an) estimés au toit et au mur du Callovo-Oxfordien et à la sortie des liaisons surface/fond pour les quartiers de stockage MAVL et HA

**C. Cas de calcul n°3 : Etude de sensibilité d'une augmentation des longueurs de galerie reliant les ouvrages des liaisons surface/fond au quartier MAVL en cas de défaillance de tous les scellements**

Dans les cas des calculs précédents, la distance entre la zone de stockage MAVL et la sortie des liaisons surface/fond a été fixée à 300 m. Pour le cas n°3, cette distance initiale a été allongée afin d'évaluer la sensibilité de la migration des radionucléides par les ouvrages à ce paramètre. Trois cas ont été testés (cf. figure T17-5) : une distance de 700 m (cas n°3 « 300 m + 400 m »), de 1 100 m (cas n°3 « 300 m + 800 m ») et de 1 500 m (cas n°3 « 300 m + 1 200 m »). En outre, comme pour le cas n°2, les scellements ont été supposés défaillants en considérant que la perméabilité de ces scellements est équivalente à celle des remblais et des bétons de revêtements /soutènement dans les galeries ( $10^{-6}$  m/s), et également en considérant des performances meilleures des matériaux constituant les galeries ( $10^{-8}$  m/s).



**Figure T17-5 - Modélisation de l'augmentation des longueurs de galerie reliant les ouvrages de liaisons surface/fond au quartier MAVL**

Pour une perméabilité des matériaux de remblayage des galeries égale à  $10^{-6}$  m/s (cf. figure T17-6), l'augmentation de la distance initiale de 300 m a peu d'influence sur les débits molaires estimés en sortie des liaisons surface/fond. Pour l' $^{129}\text{I}$ , ces débits diminuent d'au moins 20 % pour une distance augmentée de 1 200 m (de  $9.10^{-3}$  mol/an à  $7,3.10^{-3}$  mol/an). La diminution des débits molaires obtenue avec l'allongement des galeries pour le  $^{36}\text{Cl}$  et  $^{79}\text{Se}$  est également faible. Pour ce dernier, il est à noter que l'essentiel de l'inventaire radiologique est contenu dans les déchets HA. Aussi, l'allongement des galeries de la zone MAVL a peu d'influence sur les débits molaires estimés en sortie des liaisons surface/fond. Pour le  $^{14}\text{C}$ , la baisse plus conséquente des débits molaires (facteur 6 entre  $2,4.10^{-2}$  mol/an et  $3,8.10^{-3}$  mol/an) s'explique par des transferts plus longs de quelques milliers d'années qui favorisent la décroissance radioactive de ce radionucléide.

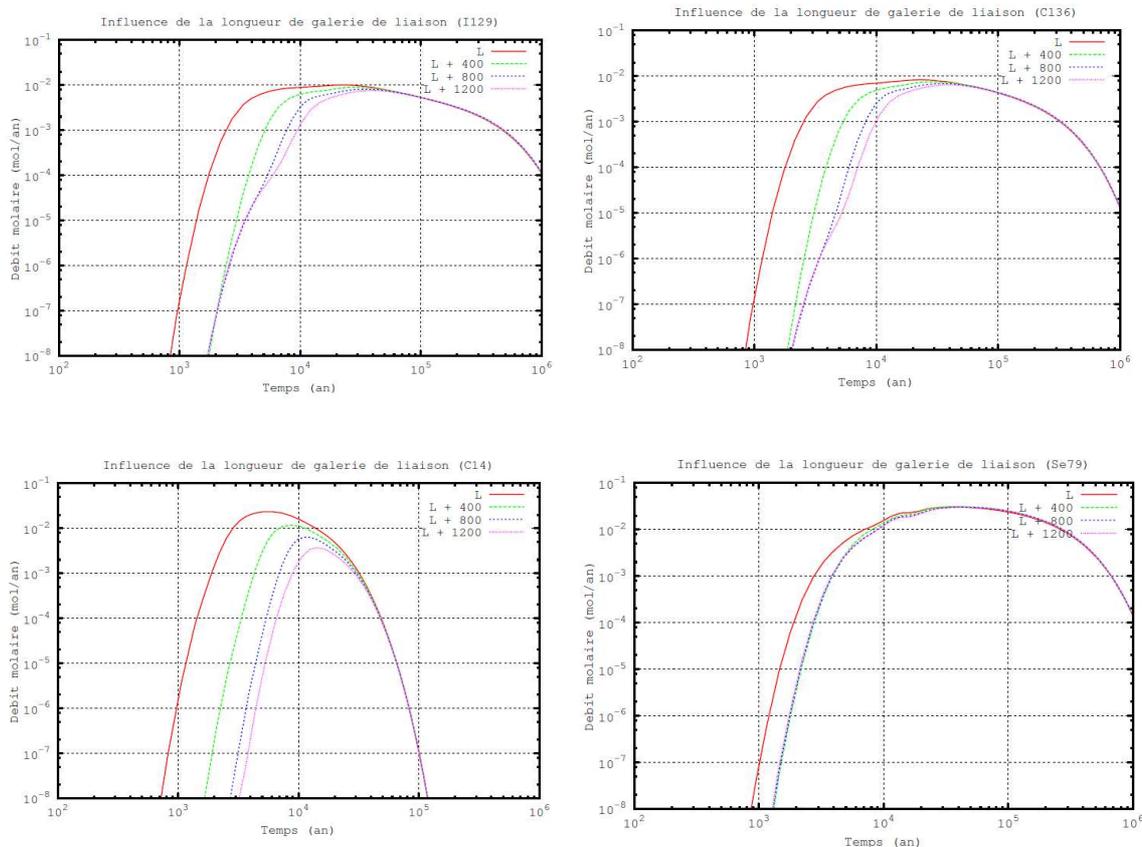


Figure T17-6 - Débits molaires (mol/an) estimés à la sortie des ouvrages de liaisons surface/fond pour le quartier MAVL pour l'<sup>129</sup>I, le <sup>36</sup>Cl, le <sup>14</sup>C et le <sup>79</sup>Se (perméabilité dans les galeries égale à 10<sup>-6</sup> m/s)

Pour une perméabilité des matériaux de remblayage des galeries égale à 10<sup>-8</sup> m/s (cf. figure T17-7), les transferts par les ouvrages sont allongés de plusieurs dizaines de milliers d'années. En conséquence, la diminution des débits molaires est plus importante que dans le cas précédent. Pour l'<sup>129</sup>I, les débits molaires estimés sont au maximum de 2.10<sup>-3</sup> mol/an pour une distance initiale de 300 m. Ces débits molaires sont diminués d'un facteur 2 pour 400 m de galeries supplémentaires (9.10<sup>-4</sup> mol/an), d'un facteur 4 pour 800 m de galeries supplémentaires (4,9.10<sup>-4</sup> mol/an) et d'un facteur 6 pour 1 200 m de galeries supplémentaires (3,2.10<sup>-4</sup> mol/an), ce qui montre qu'il y a un léger effet de l'allongement des galeries pour ce cas de calcul. Pour le <sup>36</sup>Cl, un constat similaire à celui de l'<sup>129</sup>I peut être fait. Pour les mêmes raisons que précédemment, les débits molaires en <sup>79</sup>Se sont peu sensibles à l'allongement des galeries de liaisons de la zone MAVL. En revanche, les débits molaires estimés pour le <sup>14</sup>C sont fortement sensibles à l'allongement des galeries. Les débits molaires maximaux estimés pour une distance initiale de 300 m sont de 2,4.10<sup>-2</sup> mol/an sont diminués de deux ordres de grandeur pour un allongement de 400 m (1,7.10<sup>-4</sup> mol/an), d'un facteur 3000 pour un allongement de 800 m (7.10<sup>-6</sup> mol/an) et d'un facteur 50 000 pour un allongement de 1 200 m (4,4.10<sup>-7</sup> mol/an). De telles distances entre les alvéoles de stockage et les ouvrages de liaisons surface/fond permettraient de s'assurer que la contribution à l'impact après fermeture de ce radionucléide soit négligeable.

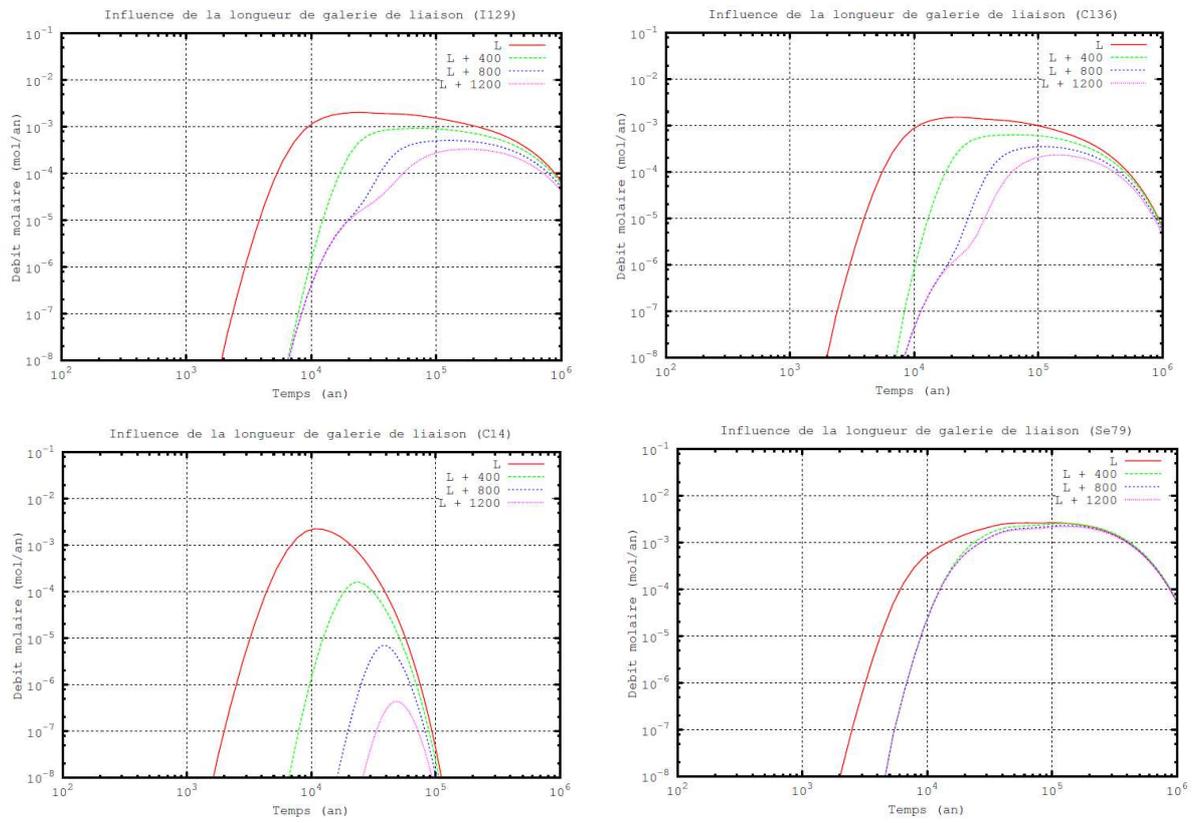


Figure T17-7 - Débits molaires (mol/an) estimés à la sortie des ouvrages de liaisons surface/fond pour le quartier MAVL pour l' $^{129}\text{I}$ , le  $^{36}\text{Cl}$ , le  $^{14}\text{C}$  et le  $^{79}\text{Se}$  (perméabilité dans les galeries égale à  $10^{-8}$  m/s)