



**AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**REVUE INTERNATIONALE PAR LES PAIRS SUR  
LE « DOSSIER D'OPTIONS DE SÛRETÉ »  
DU PROJET DE STOCKAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS EN  
COUCHE GÉOLOGIQUE PROFONDE : CIGÉO**

**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 MATIÈRES

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>	Supp
<b>1.1. Contexte</b>	<b>6</b>	Supp
<b>1.2. Objectif, périmètre et organisation de la revue</b>	<b>6</b>	Supp
<b>1.3. Structure du rapport de la revue</b>	<b>7</b>	Supp
<b>2. Processus d'autorisation de Cigéo</b>	<b>8</b>	Supp
<b>2.1 Engagement du public</b>	<b>8</b>	Supp
<b>2.2 Le Dossier d'options de sûreté</b>	<b>9</b>	Supp
<b>2.3 Demande d'autorisation et interactions entre l'ASN et l'Andra</b>	<b>9</b>	Supp
<b>2.4 Interaction avec les producteurs de déchets</b>	<b>10</b>	Supp
<b>3. Stratégie de recherche &amp; développement et d'acquisition de connaissances</b>	<b>11</b>	Supp
<b>3.1 Stratégie de sûreté après fermeture de Cigéo</b>	<b>11</b>	Supp
<b>3.2 Approche par niveau de maturité technologique</b>	<b>12</b>	Supp
<b>3.3 Planification au long terme du développement incrémental du projet Cigéo</b>	<b>13</b>	
<b>3.4 La phase industrielle pilote</b>	<b>15</b>	
<b>3.5 Gestion des connaissances</b>	<b>15</b>	Supp
<b>3.6 Recherche &amp; Développement</b>	<b>16</b>	Supp
<b>3.7 Surveillance</b>	<b>18</b>	
<b>4. Méthodologie d'établissement des scénarios pour la démonstration de sûreté</b>	<b>20</b>	
<b>4.1 Développement des scénarios pour la sûreté après fermeture</b>	<b>20</b>	
<b>4.2 Scénario de défaut de conteneur de déchets HA</b>	<b>22</b>	
4.2.1 Défaut de fabrication	22	
4.2.2 Activité microbienne	23	
<b>4.3 Scénarios d'intrusion humaine</b>	<b>24</b>	
<b>4.4 Analyses de sensibilité et d'incertitudes</b>	<b>25</b>	
<b>4.5 Sûreté en exploitation</b>	<b>25</b>	Supp
<b>5. Actions post-Fukushima</b>	<b>28</b>	
<b>Annexe 1 : Cahier des charges de la revue</b>	<b>30</b>	
<b>Annexe 2 : L'équipe de la revue internationale</b>	<b>34</b>	
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>38</b>	

## 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 CIGÉO

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. STRATÉGIE DE RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT 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>1</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>1</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.

« 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. MÉTHODOLOGIE D'ÉTABLISSEMENT DES SCÉNARIOS POUR LA DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ

### 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.

*« 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'ÉQUIPE 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 Villigen.

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 (inspectorat 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)