

# **Strategic Research Needs (SRN)**

**Programme de recherche de l'AFCN et Bel V  
concernant la sûreté de la gestion à long  
terme des déchets radioactifs de haute  
activité et/ou de longue durée de vie**



## Table des matières

1.	Situation actuelle de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et/ou de longue durée de vie en Belgique .....	3
2.	Enjeux d'un stockage géologique.....	5
3.	Les fonctions de sûreté assurant la sûreté à long terme du système de stockage géologique développé par l'ONDRAF .....	7
4.	Le SRN (Strategic Research Needs), un cadre pour l'établissement d'un programme de recherche indépendant de celui de l'ONDRAF et axé sur les prochaines étapes du processus décisionnel .....	8
4.1	Objectifs du programme de recherche.....	9
4.2	Besoins de recherches .....	9
4.3	Thèmes clefs.....	10
4.3.1	Thème 1 : La caractérisation des composants importants pour la sûreté	11
4.3.2	Thème 2 : Les phénomènes importants pour la sûreté .....	13
4.3.3	Thème 3 : La stabilité à long terme .....	13
4.3.4	Thème 4 : Le design et la faisabilité technique de la construction.....	16
4.3.5	Thème 5 : L'évaluation de sûreté .....	16
5.	Références .....	18

## 1. Situation actuelle de la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et/ou de longue durée de vie en Belgique

La production de déchets radioactifs est inhérente à la production d'électricité à partir d'énergie nucléaire, à l'utilisation de matières radioactives dans l'industrie, la médecine et la recherche, ainsi qu'au traitement de matières premières contenant des radionucléides naturels. Ces déchets, représentant un danger potentiel pour l'homme et l'environnement, doivent être gérés de manière sûre, sans imposer de contraintes excessives aux générations qui nous succéderont.

L'ONDRAF (l'Organisme National des Déchets RAdioactifs et des matières Fissiles enrichies) est responsable, depuis 1980 [1], de la gestion sûre des déchets radioactifs en Belgique. L'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN) est le régulateur et a pour mission de veiller à ce que la population, les travailleurs et l'environnement soient protégés contre les dangers résultant des rayonnements ionisants [2]. Bel V, support technique de l'AFCN, est chargé de réaliser les contrôles réguliers et les évaluations de sûreté dans les principales installations nucléaires belges.

Une caractéristique des déchets radioactifs est la persistance de leur danger associé sur des périodes pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers d'années dans le cas des déchets à longue durée de vie.

En Belgique, un programme de recherche et développement étudiant la possibilité de stocker de manière définitive les déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie (i.e. déchets de catégories B & C) dans la couche d'argile de Boom a été initié en 1974 par le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (CEN). Ce programme a mené à la mise en service du laboratoire de recherche souterrain HADES (High Activity Disposal Experimental Site) en 1984. La responsabilité de ce programme de recherche a ensuite été transférée à l'ONDRAF après sa création. Plus récemment, l'ONDRAF a également entamé des recherches à propos d'un possible stockage définitif des déchets de catégories B & C dans d'autres formations géologiques, dont principalement les argiles Yprésiennes.

La directive 2011/70/Euratom établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs [3] a été adoptée le 19 juillet 2011 par le Conseil de l'Union Européenne. Cette directive instaure la nécessité de mettre en place des politiques nationales en matière de gestion des déchets radioactifs et du combustible usé. La directive oblige par ailleurs la mise en place dans chaque État membre d'une autorité de réglementation compétente dans le domaine de la sûreté de la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés, dotée des moyens financiers et humains nécessaires à l'accomplissement de ses missions. La directive prescrit en outre que les informations nécessaires relatives à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs soient mises à la disposition du public.

La transposition en droit belge de cette directive a été réalisée en 2014 par une modification de l'article 179 de la loi du 8 août 1980 [1]. Cette loi requiert que les politiques nationales en matière de gestion des déchets radioactifs soient fixées par

arrêté royal délibéré en Conseil des ministres, sur proposition de l'ONDRAF et après avis de l'AFCN.

Malgré ces dispositions légales, la Belgique ne s'est pas encore dotée de politique institutionnelle en matière de gestion à long terme des déchets de catégories B & C.

En 2011, l'ONDRAF a publié un « plan déchets » [4] et une évaluation des incidences sur l'environnement (EIE) [5] consistant à examiner, d'une part, les options de gestion possibles concernant les catégories de déchets pour lesquelles il n'existe aucune politique institutionnelle en matière de gestion à long terme (dont font partie les déchets de catégories B & C) et, d'autre part, l'impact de ces options.

Dans son avis sur ce plan déchets [6], l'AFCN indique que l'option « stockage géologique » apparaît être l'option la plus adéquate en termes de sûreté à moyen et à long termes et de limitation des charges aux générations futures vu le caractère passif de cette option. Elle précise également que l'option « stockage dans des forages profonds » ne peut être définitivement exclue sur base des arguments présentés. L'AFCN est aussi d'avis qu'il n'est actuellement pas possible de prendre une décision sur la formation géologique qui pourrait accueillir une telle installation. En effet, même si aucun argument ne remet en question actuellement la capacité de l'argile de Boom à confiner les radionucléides contenus dans les déchets, il n'existe aucune argumentation technique et scientifique montrant ses avantages par rapport aux autres formations géologiques hôtes potentielles. L'AFCN estime donc nécessaire de mener des études directrices sur ces autres formations géologiques pour lesquelles il existe actuellement peu d'information. En outre, l'AFCN estime que la capacité d'isolation visant à protéger l'homme et l'environnement contre une exposition directe aux déchets, devrait faire partie intégrante de l'évaluation des formations géologiques et de leur environnement.

Ces arguments ont été entendus par le ministère de l'Énergie, de l'Environnement et du Développement durable qui a donné mandat à l'ONDRAF en 2019 de proposer une politique nationale identifiant le stockage géologique comme la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets de catégories B & C, sans toutefois prendre de décision quant à la formation géologique qui accueillera le stockage. L'ONDRAF a également été mandaté pour rédiger une nouvelle EIE justifiant cette politique. Cette dernière est soumise à la consultation du public et à l'avis de plusieurs instances officielles, dont l'AFCN.

## 2. Enjeux d'un stockage géologique

La stratégie préconisée internationalement pour assurer la sûreté à long terme d'un stockage définitif de déchets radioactifs est d'isoler et de confiner ceux-ci de manière passive [7]. Ceci implique de séparer les déchets de l'homme et de l'environnement, tout en empêchant ou limitant la migration des radionucléides contenus dans les déchets.

Le stockage géologique des déchets radioactifs dans des installations adéquates, situées en profondeur dans des formations géologiques stables et appropriées, est considéré dans l'état actuel des connaissances, comme l'option la plus sûre pour protéger l'homme et l'environnement [8].

En effet:

- un stockage repose à terme sur des mesures exclusivement passives appropriées à ces déchets;
- ce type de déchets nécessite un niveau de confinement et d'isolation qui ne peuvent être offerts que par une formation géologique à une profondeur adéquate;
- cette option permet de limiter les charges aux générations futures et de s'affranchir au mieux des incertitudes contextuelles.

La décision de réaliser un stockage définitif revient à opter pour une stratégie de concentration et de confinement des déchets, par opposition à la stratégie de dilution et de dispersion. En conséquence, dans le cas des déchets de haute activité, une exposition directe aux déchets, suite à une intrusion humaine ou à une érosion des barrières géologiques, affecterait de manière sévère les individus exposés. La vraisemblance d'une intrusion humaine par inadvertance dans l'installation de stockage ou d'une perte des barrières géologiques recouvrant les déchets doit donc être réduite et ce d'autant plus que l'activité des déchets demeure élevée.

Les déchets contenant des éléments radioactifs à vie longue nécessitent d'assurer la protection de l'homme et de l'environnement sur une échelle de temps considérable définie par la quantité de radionucléides initialement présente, et les propriétés de décroissance de ces radionucléides (demi-vie, chaîne de désintégration ...).

Il est reconnu que l'évolution des composants naturels et ouvrages d'un système de stockage et de son environnement ne peut être prédite avec certitude pour de telles périodes de temps. En effet, des incertitudes découlent inévitablement des limites de nos connaissances. Ces incertitudes augmentent d'autant plus que les périodes de temps considérées sont longues. Dès lors, l'acceptabilité d'un stockage définitif nécessite de démontrer avec suffisamment de confiance, à l'aide d'un faisceau d'arguments qualitatifs et quantitatifs convaincants, que la protection à long terme de l'homme et de l'environnement sera assurée en dépit de ces incertitudes. En particulier, certaines incertitudes relatives à l'évolution du système de stockage ne pouvant être évitées ou réduites, il est important de démontrer que le système de stockage est suffisamment robuste vis-à-vis des perturbations raisonnablement envisageables.

Ainsi, l'évaluation de la sûreté à long terme d'un stockage géologique nécessite d'apprécier:

- la capacité du système de stockage à isoler et à confiner;
- la robustesse du système de stockage;
- l'impact radiologique possible du stockage dans les différentes situations envisageables;
- l'impact possible des incertitudes sur la sûreté et comment celles-ci sont gérées.

Outre ces aspects techniques, le processus décisionnel associé à la gestion à long terme des déchets de catégories B & C comporte une dimension sociétale et économique qu'il convient de prendre en compte. Bien que le SRN se focalise sur les aspects techniques, l'AFCN ensemble avec son support technique Bel V (en charge de réaliser les contrôles réguliers et les évaluations de sûreté dans les principales installations nucléaires belges) développent leur expertise dans ce domaine dans le cadre du réseau SITEX (<https://www.sitex.network/>) et du programme européen EURAD (<https://www.ejp-eurad.eu/>).

### 3. Les fonctions de sûreté assurant la sûreté à long terme du système de stockage géologique développé par l'ONDRAF

Les fonctions de sûreté assurées sur le long terme par les composants du système de stockage développé par l'ONDRAF sont l'isolation, le confinement ouvragé, le retard et l'étalement des relâchements et sont illustrées à la Figure 1 [8].

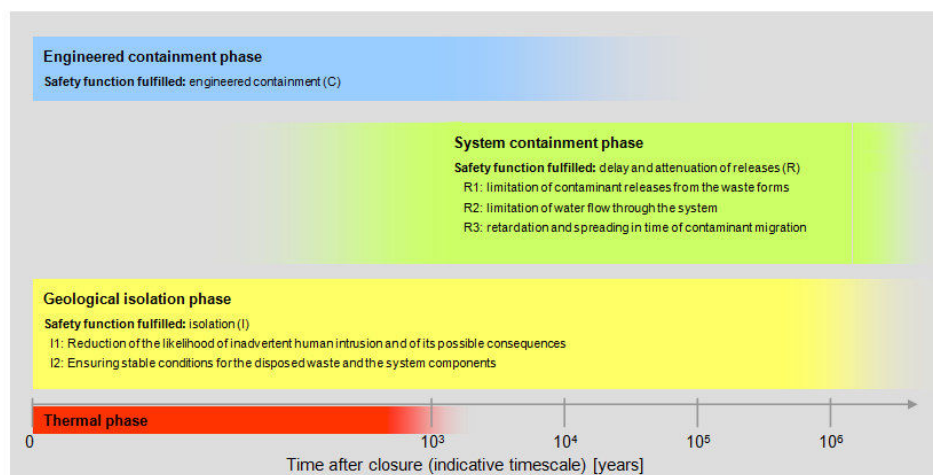
Ces fonctions de sûreté reposent sur les deux grandes mesures de protection suivantes:

- prévenir l'exposition aux rayonnements ionisants qui résulterait d'une intrusion humaine par inadvertance dans le stockage géologique ;
- prévenir l'exposition qui résulterait d'un relâchement de radionucléides dans l'environnement.

L'ONDRAF identifie :

- La fonction d'isolation (I) assurée notamment par la formation géologique hôte et sa couverture géologique. Elle consiste à prévenir l'accès direct au déchet par intrusion (I1) et à assurer des conditions stables pour les déchets et les composants du système de stockage (I2) ;
- La fonction de confinement ouvragé (C) est assurée par des barrières ouvragées étanches placées autour des déchets ;
- La fonction de retard et d'étalement du relâchement (R) sont assurée par la matrice du déchet, les barrières ouvragées et la formation géologique hôte. Elle consiste à limiter le relâchement hors du colis de déchet (R1), à limiter l'écoulement d'eau dans le système (R2) et à retarder et étaler dans le temps la migration des radionucléides (R3).

La mise en place de plusieurs barrières remplissant diverses fonctions de sûreté, tels que des matériaux de remplissage argileux ou cimentaires assurant le confinement et/ou le maintien de conditions chimiques favorables limitant la corrosion, est un élément primordial de la sûreté à long terme car elle contribue à rendre le système de stockage robuste vis-à-vis des perturbations envisageables.



**Figure 1** : Les fonctions de sûreté assurées sur le long terme par les composants du système de stockage développé par l'ONDRAF [8].

#### 4. Le SRN (Strategic Research Needs), un cadre pour l'établissement d'un programme de recherche indépendant de celui de l'ONDRAF et axé sur les prochaines étapes du processus décisionnel

L'AFCN est en charge d'émettre des avis relatifs aux propositions de politiques nationales en matière de gestion des déchets radioactifs. Pour ce qui concerne la gestion à long terme des déchets de catégories B & C, la première étape du processus décisionnel consiste à déterminer l'option qui sera suivie afin de garantir la protection de l'homme et l'environnement aussi longtemps que nécessaire sans imposer de contraintes excessives aux générations qui nous succéderont.

Dans l'éventualité où la Belgique opterait pour un stockage géologique, la mission de l'AFCN et de Bel V consistera à vérifier que l'installation de stockage est développée, construite, exploitée et fermée de manière sûre, c'est-à-dire que la population, les travailleurs et l'environnement sont protégés contre les rayonnements ionisants émis par les déchets radioactifs et ce, sans imposer de contraintes excessives aux générations futures. Cette mission implique plusieurs types d'activités telles que l'élaboration de réglementations et de guides, l'examen des évaluations de sûreté et la supervision des activités de l'ONDRAF afin de s'assurer que les exigences de sûreté sont remplies. L'AFCN réalise cette mission en collaboration étroite avec son support technique Bel V.

Chaque installation de stockage géologique est, de par sa nature, unique en son genre. En effet, les caractéristiques et performances des barrières géologiques dépendent grandement de la formation géologique hôte choisie et de son environnement qui varie en fonction du site choisi. En outre, l'évolution à long terme des déchets et des barrières ouvragées peut être influencée de manière significative par les caractéristiques des barrières géologiques et de leur environnement. Vu le caractère complexe et inédit des stockages géologiques de déchets radioactifs et la nécessité pour l'autorité de sûreté de construire sa propre expertise afin de pouvoir évaluer les dossiers de sûreté soumis par l'ONDRAF, l'AFCN et Bel V mettent en œuvre un programme de recherche indépendant de celui de l'ONDRAF. Le recours à des recherches indépendantes est d'ailleurs requis par l'Union Européenne [3] et recommandé par l'AIEA [9]. C'est dans ce contexte que l'AFCN et Bel V mènent des recherches indépendantes pour:

- conserver un socle de connaissances suffisamment étendu et solide afin de s'assurer que les exigences de sûreté qu'ils émettent sont bien fondées et adéquates;
- développer et maintenir à jour leurs compétences techniques et scientifiques;
- être en mesure de porter un regard critique sur les arguments du développeur/exploitant de l'installation de stockage.



## 4.1 Objectifs du programme de recherche

Les objectifs du programme de recherche mené par l'AFCN et Bel V diffèrent donc de ceux de l'ONDRAF. Il s'agit en effet d'un «complément» et d'une «vérification» plutôt que d'une duplication du programme de recherche de l'ONDRAF. Le programme bénéficie d'échanges et de collaborations avec des institutions étrangères. Ces échanges et collaborations permettent le partage des règles de bonne pratique, des connaissances et des ressources.

Ce programme est basé sur une identification systématique des besoins de recherche associés à l'exécution des missions réglementaires de l'AFCN et de Bel V.

Le SRN constitue, pour les années en cours et à venir, le cadre pour développer et maintenir l'expertise et les outils nécessaires à l'examen indépendant par l'AFCN et Bel V des dossiers relatifs à la gestion des déchets de catégories B & C.

Le SRN est un document vivant, qui évoluera tout au long du cycle de vie du programme de gestion des déchets en fonction de l'évolution du processus décisionnel et de la compréhension scientifique des phénomènes importants pour la sûreté. A ce stade du programme, l'accent est mis sur les activités de R&D relatives :

- à la sélection de la formation géologique hôte et de son environnement géologique et aux aspects spécifiques de la sûreté opérationnelle et à long terme ayant une implication directe sur la sélection de cette formation et du site de stockage ;
- à la possibilité de stocker les déchets dans des forages profonds ;
- aux aspects de sûreté opérationnelle et à long terme pouvant influencer le design d'une installation de stockage.

Le SRN permet ainsi de structurer, définir et coordonner les activités de R&D de l'AFCN et de Bel V.

Le SRN constitue également un support à une communication transparente sur les activités de l'AFCN et de Bel V et sur les positions prises vis-à-vis des parties prenantes y compris la société civile et le monde politique.

## 4.2 Besoins de recherches

Les besoins de recherche sont priorisés tenant compte des prochaines étapes actuellement prévues du programme de gestion à long terme des déchets B & C décrites ci-après :

- la proposition par l'ONDRAF d'une politique nationale et de l'EIE associée. L'AFCN en collaboration avec Bel V émettra un avis sur cette proposition ;
- la publication en 2022 par l'ONDRAF d'un premier rapport de sûreté appelé «SFC1» (Safety and Feasibility Case 1). Ce document contiendra notamment une comparaison des formations géologiques hôtes potentielles disponibles en Belgique, les méthodologies suivies pour évaluer la sûreté d'une installation de stockage géologique et leur application aux argiles de Boom et Yprésiennes ainsi que le design de référence de l'installation ;  
L'AFCN en collaboration avec Bel V procédera à l'examen de ce rapport de sûreté.

Cet examen aura pour objectif d'évaluer:

- l'élaboration et l'implémentation de la stratégie de sûreté ;
- l'identification des formations géologiques hôtes potentielles ;
- le développement du concept de référence ;
- la justification et l'implémentation des méthodes d'acquisition des données et la confiance dans les données;
- la description des processus qui régissent les performances des composants du système de stockage c.-à-d. leur capacité à remplir leurs fonctions de sûreté ;
- le développement des scénarios d'évolution à long terme du système de stockage en tenant compte des incertitudes;
- l'évaluation et l'optimisation de la sûreté opérationnelle et à long terme.

#### 4.3 Thèmes clefs

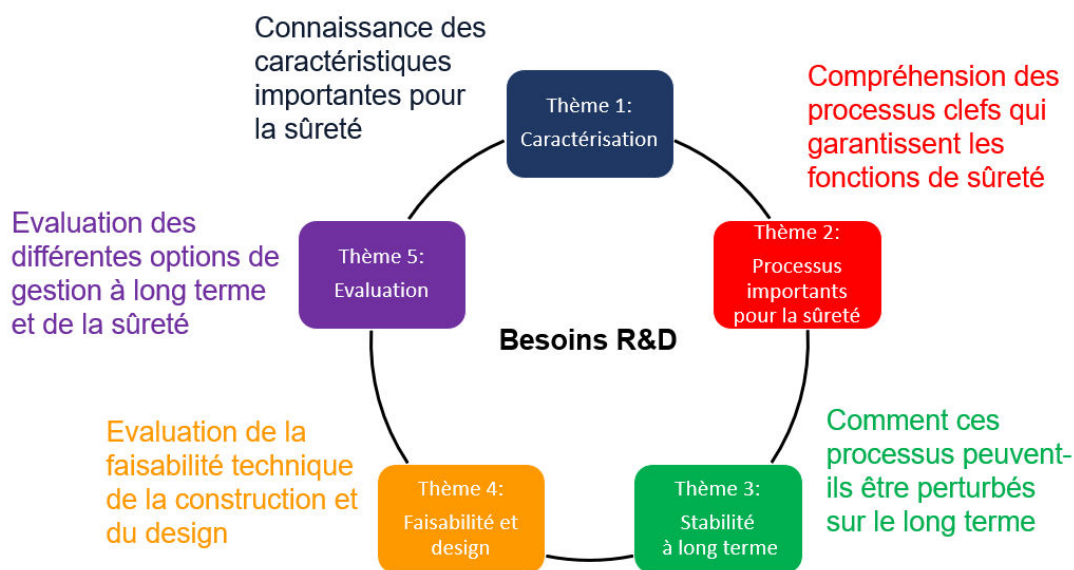
Le SRN est structuré selon les cinq thèmes clefs (voir Figure 2) suivants :

- la caractérisation des composants importants pour la sûreté
  - l'objectif est de renforcer les connaissances de l'AFCN et Bel V relatives aux caractéristiques et paramètres importants pour la sûreté (par exemple relatifs à la migration des radionucléides), y compris les incertitudes associées, liées (i) aux déchets, (ii) aux composants ouvragés de l'installation (iii) aux formations géologiques hôtes potentielles disponibles en Belgique, et (iv) à l'environnement entourant ces formations (en particulier l'hydrogéologie et la biosphère).
- les phénomènes importants pour la sûreté
  - l'objectif est de renforcer la compréhension de l'AFCN et Bel V des phénomènes (i) sur lesquels repose le concept de sûreté considéré par l'ONDRAF pour concevoir un système de stockage géologique de référence et (ii) régissant la migration des radionucléides dans l'environnement entourant la formation géologique hôte. Les incertitudes associées à ces phénomènes sont particulièrement importantes.
- la stabilité à long terme
  - l'objectif est de renforcer la compréhension de l'AFCN et Bel V des phénomènes susceptibles de perturber la sûreté à long terme d'un système de stockage géologique. Les perturbations induites par des processus internes (par exemple ceux induits par l'excavation, l'exploitation, les déchets, les composants ouvragés ou la formation géologique hôte) ou externes au système (par exemple les glaciations, les transgressions marines, la sismicité ou les activités humaines) sont étudiées. L'influence possible sur la sûreté des phénomènes identifiés et les incertitudes associées sont évaluées.
- le design et la faisabilité technique
  - l'objectif est de renforcer les connaissances de l'AFCN et Bel V associées au design et à la faisabilité technique de la construction d'une installation de stockage géologique. Ceci inclut la qualification des technologies envisagées vis-à-vis des fonctions de sûreté devant être remplies par les différents composants de l'installation (par exemple leur capacité de confinement) et les moyens (procédures, outils, méthodes) pour vérifier

leur correcte mise en œuvre. Les défis techniques et les incertitudes associées sont notamment identifiés.

- l'évaluation de sûreté
  - l'objectif est :
    - d'évaluer les différentes options de gestion à long terme ;
    - de renforcer les connaissances de l'AFCN et Bel V en matière de méthodes d'évaluation de la sûreté et de gestion des incertitudes ;
    - de développer une vision indépendante des évolutions possibles d'un système de stockage ;
    - de modéliser le comportement du système et son impact radiologique afin d'identifier les hypothèses et paramètres clés, et d'analyser les incertitudes.

Chaque thème clef comprend un certain nombre de rubriques. Pour chacune de celles-ci, l'importance pour la sûreté est discutée dans la suite du document.



**Figure 2** : Thèmes clefs abordés dans le SRN.

#### 4.3.1 Thème 1 : La caractérisation des composants importants pour la sûreté

La caractérisation des propriétés des déchets et des composants du système de stockage et de son environnement et des incertitudes associées constitue un élément de base de l'évaluation de la sûreté. Elle permet notamment d'identifier les interactions possibles entre les déchets et les composants ouvragés du système de stockage et la formation géologique hôte. Les besoins en recherche concernent les composants suivants :

## Les déchets

- L'inventaire des déchets est une donnée de base pour la conception d'un système de stockage géologique. Sa caractérisation permet d'identifier, de comprendre et de quantifier les phénomènes contribuant au confinement des radionucléides dans la matrice des déchets (fonction de sûreté R1) ou pouvant perturber les autres composants du système de stockage. Sa connaissance est également requise afin de définir les critères d'acceptation permettant d'identifier les déchets qui pourront être stockés dans l'installation.

## Composants ouvragés

- Les composants ouvragés de l'installation permettent, avec la formation géologique hôte et, dans certains cas, la matrice des déchets, de mettre en œuvre à long terme le principe de défense en profondeur<sup>1</sup>. Leur caractérisation permet d'identifier, de comprendre et de quantifier les phénomènes contribuant aux fonctions de sûreté qui leur ont été attribuées (fonctions de sûreté C+R).

## Formations géologiques hôtes potentielles

- La formation géologique hôte constitue une barrière essentielle d'un système de stockage géologique. Les formations géologiques hôtes potentielles présentes sur le territoire belge doivent être identifiées sur base d'attributs<sup>2</sup> de sûreté déclinant notamment les fonctions de sûreté d'isolation (fonction de sûreté I) et de confinement (fonction de sûreté R). La caractérisation des propriétés des formations géologiques hôtes potentielles et des conditions y régnant est importante pour évaluer leurs capacités d'isolement et de confinement des déchets. Leurs caractéristiques physico-chimiques, leur géométrie, leur homogénéité et leur profondeur constituent des éléments essentiels pour déterminer leur aptitude à accueillir une installation de stockage de manière sûre.

## Chimie de l'eau et interaction avec la phase solide de la formation géologique hôte

- La chimie des eaux se trouvant dans les pores et interstices des composants d'un système de stockage contrôle de nombreux phénomènes importants pour la sûreté et en particulier la migration des radionucléides. Elle est essentielle pour comprendre la spéciation chimique, la solubilité et la sorption des radionucléides (fonction de sûreté R3). Elle est également un élément clef des études visant à comprendre et à évaluer les éventuelles perturbations chimiques internes au système qui pourraient être causées par certains déchets, par la formation hôte ou par certains matériaux.

## Hydrogéologie

- Bien qu'aucune fonction de confinement ne soit attribuée aux aquifères, les caractéristiques de l'environnement du système de stockage constituent des données importantes pour les modèles hydrogéologiques et de biosphère permettant d'estimer son impact radiologique. Les caractéristiques des aquifères éventuels situés sous la formation géologique hôte sont également

<sup>1</sup> Le principe de défense en profondeur consiste à ce que la sûreté repose sur un ensemble d'éléments de protection différents de manière à ce qu'une défaillance technique, humaine ou organisationnelle ne puisse jamais compromettre à elle seule la sûreté du stockage définitif.

<sup>2</sup> Un attribut de sûreté est une qualité, une propriété ou une mesure liée à la performance

importantes pour évaluer la vraisemblance d'une intrusion humaine (fonction de sûreté I).

#### Biosphère

- La biosphère correspond à la partie de l'environnement facilement accessible aux humains et à leurs activités. Bien qu'aucune fonction de sûreté ne soit attribuée à la biosphère, ses caractéristiques sont importantes pour la détermination de l'impact radiologique possible imputable à une installation de stockage.

#### 4.3.2 Thème 2 : Les phénomènes importants pour la sûreté

L'AFCN et Bel V renforcent également les connaissances relatives aux phénomènes importants pour la sûreté à long terme. Parmi ceux-ci, on peut distinguer :

- Les phénomènes qui garantissent les fonctions de sûreté et dont la bonne compréhension est centrale pour le développement des scénarios et des modèles utilisés dans l'évaluation de sûreté. Les phénomènes suivants sont notamment considérés :
  - Les phénomènes de dégradation des déchets et en particulier ceux régissant la fonction de sûreté de confinement (fonction de sûreté R1) assignée à certaines matrices de déchets ;
  - Les phénomènes garantissant les fonctions de sûreté des composants ouvragés du système de stockage (fonctions de sûreté C, I2 R2 et/ou R3) ;
  - Les phénomènes garantissant les fonctions de sûreté de confinement de la formation géologique hôte (fonctions de sûreté R2 et R3) et par conséquent ceux régissant la migration des radionucléides.
- Les phénomènes influençant le transport des radionucléides dans l'environnement du stockage qui sont essentiels au calcul de l'impact radiologique possible imputable à l'installation.

#### 4.3.3 Thème 3 : La stabilité à long terme

L'évaluation de la sûreté doit démontrer que le système de stockage est suffisamment robuste, la robustesse étant définie comme la capacité du système à atteindre les performances attendues en dépit des aléas liés à la construction et des perturbations envisageables.

Ce thème vise à renforcer l'expertise de l'AFCN et de Bel V relative aux perturbations potentiellement pertinentes pour la sûreté à long terme et à leurs possibles conséquences sur les fonctions de sûreté des différents composants du système. Le tableau 1 présente les différents types de perturbations qu'il est nécessaire de prendre en compte.

		Composants du système perturbés		
		Matrice du déchet	Barrières ouvragées	Roche hôte
<b>Perturbations Internes induites par :</b>	Construction et opération	-	✔	
	Matrice du déchet		✔	
	Barrières ouvragées	✔	✔	
	Roche hôte		✔	-
<b>Perturbations externes induites par :</b>	Phénomènes naturels		✔	
	Activités humaines		✔	

**Tableau 1 :** Perturbations potentielles à prendre en compte dans une évaluation de sûreté d'une installation de stockage géologique.

Parmi les possibles perturbations, on peut distinguer :

- les perturbations internes :
  - perturbations induites par la construction de l'installation et son exploitation :
    - modification des propriétés hydro-mécaniques de composants du système (ex. : création de voies de transport préférentielles) pouvant affecter les fonctions de sûreté de confinement (fonctions de sûreté R) ;
    - oxydation de la formation géologique hôte pouvant impacter certaines fonctions de sûreté (par exemple, une modification de la chimie de l'eau interstitielle peut modifier la capacité à retarder la migration des radionucléides - fonction de sûreté R3) ;
    - activité microbienne pouvant impacter de manière positive ou négative certaines fonctions sûreté.
  - perturbations induites par les déchets :
    - augmentation de la température aux abords des déchets de catégorie C (par exemple la température pourrait influencer la migration des radionucléides – fonctions de sûreté R2 et R3) ;

- génération et migration de gaz pouvant impacter certaines fonctions de sûreté (par exemple l'accumulation de gaz est susceptible de créer des voies de transport préférentielles – fonction de sûreté R2) ;
- radiolyse induite par les rayonnements ionisants produits par certains déchets qui pourraient par exemple induire des conditions oxydantes impactant la migration des radionucléides (fonction de sûreté R3) ;
- perturbations induites par les déchets enrobés de bitume (par exemple le gonflement des bitumes pourrait endommager le champ proche – fonction de sûreté R2) ;
- perturbations induites par les autres déchets contenant des éléments chimiques pouvant impacter des fonctions de sûreté (par exemple, des perturbations chimiques qui pourraient accroître la mobilité des radionucléides dans la roche hôte - fonction de sûreté R3) ;
- criticité : les radionucléides contenus dans certains déchets pourraient, dans certaines circonstances, déclencher une réaction de fission nucléaire soutenue, qui produirait une grande quantité de chaleur et pourrait ainsi affecter les fonctions de sûreté C et R.
- perturbations induites par les composants ouvragés du système de stockage :
  - les matériaux cimentaires peuvent induire un front alcalin susceptible d'impacter les fonctions de sûreté R2 et R3 de la formation géologique hôte.
- perturbations induites par la formation géologique hôte
  - dégradation du béton pouvant impacter les fonctions de sûreté I2 (protection contre la corrosion des composants métalliques) et R3 (modification des propriétés de transport) ;
  - corrosion de composants métalliques pouvant impacter leurs fonctions de sûreté (par exemple perte d'étanchéité du suremballage métallique recouvrant les déchets – fonction de sûreté C).
- les perturbation externes :
  - perturbations d'origine naturelle :
    - glaciations : Plusieurs périodes glaciaires devraient se produire dans la vie d'un stockage géologique. Les glaciations induiront des changements importants dans l'environnement du stockage et possiblement dans le système de stockage même. Par exemple l'augmentation des contraintes pourrait affecter l'intégrité des colis de déchets (fonctions de sûreté R1 et C) ;
    - régressions et transgressions marines : Une transgression marine est un événement géologique au cours duquel le niveau de la mer monte par rapport à la terre, entraînant des inondations. Une régression est le phénomène inverse. Les transgressions et régressions marines peuvent être causées par des phénomènes tectoniques ou des changements climatiques et induiront des modifications importantes des conditions environnantes du stockage, voire du stockage lui-même. Par exemple des modifications des charges hydrauliques pourraient modifier la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine (fonction de sûreté R2) ;



- mouvements tectoniques tels que les phénomènes de subsidence ou de soulèvement : ils peuvent être à l'origine de plusieurs perturbations du système de stockage telles que l'augmentation des contraintes mécaniques dans le système, des changements de porosité de la formation géologique hôte, le développement ou la réactivation de failles ou l'érosion des formations géologiques proches de la surface (fonction de sûreté I1) ;
- séismicité: les tremblements de terre peuvent potentiellement affecter l'intégrité des colis de déchets (fonctions de sûreté R1 et C) ou des barrières ouvragées et entraîner la formation de fractures perméables à l'eau dans la formation géologique hôte (fonction de sûreté R2).
- perturbations d'origine humaine : différentes activités humaines sont susceptibles d'affecter les performances du système de stockage. Ces activités comprennent notamment le pompage d'eau souterraine, l'exploitation minière, le stockage et l'extraction de gaz ou la production d'énergie géothermique.

#### 4.3.4 Thème 4 : Le design et la faisabilité technique de la construction

Le design d'une installation de stockage doit permettre la bonne mise en œuvre des fonctions de sûreté identifiées dans le concept de sûreté compte tenu des différentes perturbations envisageables ainsi que d'atteindre un niveau de protection optimal à court et à long terme.

Il est également nécessaire de démontrer que l'installation de stockage telle que conçue peut être construite avec le niveau de performance requis (c'est ce qu'on appelle la faisabilité de la construction). Les techniques utilisées doivent être éprouvées ou justifiées sur base de tests de qualification.

Afin de pouvoir évaluer ces éléments, il est important de connaître les techniques possibles d'excavation et de construction, d'évaluer les difficultés possibles d'application de ces techniques (notamment en fonction de la profondeur de l'installation) et d'analyser les designs développés dans les autres pays.

#### 4.3.5 Thème 5 : L'évaluation de sûreté

L'option de gestion à long terme des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie qui sera choisie doit être argumentée compte tenu des options alternatives envisageables. Il est donc important de confirmer que l'option « stockage géologique » proposée par l'ONDRAF répond au mieux aux exigences de sûreté.

Le développement et l'utilisation de méthodes d'évaluation appropriées sont essentielles pour renforcer la confiance dans les résultats d'un dossier de sûreté. De plus, la démonstration de la sûreté d'une installation requiert que les incertitudes pertinentes pour la sûreté soient correctement gérées. Il est donc nécessaire pour l'AFCN et Bel V de disposer d'une connaissance approfondie des bonnes pratiques en matière de méthodes d'évaluation et de gestion des incertitudes.

En particulier, les méthodes d'évaluation de la faisabilité technique et de la robustesse du système de stockage, la sélection d'indicateurs de sûreté appropriés, la gestion des incertitudes, la traçabilité et la transparence du processus d'évaluation, l'identification



des perturbations possibles ainsi que les méthodologies de développement de scénarios constitueront des points d'attention lors de l'examen du dossier de sûreté.

Une compréhension suffisante des évolutions possibles du système de stockage et de son environnement est indispensable à la démonstration de sûreté. Elle représente la base pour évaluer l'impact possible des incertitudes sur les fonctions de sûreté devant être remplies par les différents composants du système de stockage et constitue un prérequis pour le développement des scénarios et des modèles utilisés dans l'évaluation de sûreté. Il est également nécessaire de pouvoir identifier de manière indépendante les hypothèses et paramètres clés de ces modèles afin de pouvoir vérifier leur bien-fondé et focaliser les recherches de l'AFCN et de Bel V sur les éléments importants pour la sûreté.

## 5. Références

- [1] Loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980. [http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi\\_loi/change\\_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1980080801&table\\_name=loi](http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1980080801&table_name=loi)
- [2] Loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence fédérale de Contrôle nucléaire. [http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi\\_loi/change\\_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1994041536&table\\_name=loi](http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1994041536&table_name=loi)
- [3] CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE (2011). Directive 2011/70/EURATOM du conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible use et des déchets radioactifs. <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/70/oj>
- [4] ONDRAF/NIRAS (2011). Waste Plan for the Long-Term Management of Conditioned High-Level and/or Long-Lived Radioactive Waste and Overview of Related Issues, NIROND 2011-02E, ONDRAF/NIRAS, Brussels, Belgium.
- [5] ONDRAF-NIRAS (2011). Strategic Environmental Assessment (SEA) over het AfvalPlan NIRAS.
- [6] FANC/AFCN (2010). Avis de l'AFCN sur les documents de l'ONDRAF: Projet de Plan Déchets (PPD) et Evaluation des Incidences sur l'Environnement (EIE), Nota 010-149-N. <https://afcn.fgov.be/fr/system/files/avis-afcn-plan-dechets-2011.pdf>
- [7] IAEA (2011). Disposal of Radioactive Waste. IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-5.
- [8] ONDRAF/NIRAS (2013). ONDRAF/NIRAS Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Geological Disposal of high-level and/or long-lived radioactive waste including irradiated fuel if considered as waste. State-of-the-Art report as of December 2012, ONDRAF/NIRAS report NIROND-TR 2013-12 E, 2013.
- [9] IAEA (2002). Review and Assessment of Nuclear Facilities by the Regulatory Body. IAEA Safety Standards Series, Safety Guide No. GS-G-1.2.