

RÉSUMÉ

Depuis des décennies, les Canadiens utilisent l'électricité produite par les réacteurs nucléaires exploités en Ontario, au Québec et au Nouveau-Brunswick. Lorsque le combustible nucléaire irradié est retiré d'un réacteur, il est considéré comme un déchet, est radioactif et doit être géré avec soin. Bien que sa radioactivité décroisse avec le temps, sa toxicité chimique persiste, et le combustible irradié présentera un risque de santé pour les personnes et l'environnement pendant encore plusieurs centaines de milliers d'années. Actuellement, le combustible nucléaire irradié canadien est provisoirement entreposé en toute sûreté dans des installations autorisées situées là où le combustible irradié est généré.

La Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) est responsable de la mise en œuvre de la Gestion adaptative progressive (GAP), le plan approuvé par le gouvernement fédéral pour la gestion à long terme du combustible nucléaire irradié canadien. En vertu de ce plan, le combustible nucléaire irradié sera stocké dans un dépôt géologique en profondeur construit au sein d'une formation rocheuse appropriée.

Un dépôt géologique en profondeur est un système à barrières multiples conçu pour protéger à long terme les personnes et l'environnement. Les barrières sont la constitution durable des déchets, les conteneurs à longue vie conçus pour résister à la corrosion, les matériaux synthétiques de scellement et la géosphère environnante.

Un processus de sélection d'un site est en cours pour trouver un site sûr pour un dépôt géologique en profondeur au sein d'une collectivité informée et consentante. Le processus de sélection d'un site s'étendra sur plusieurs années. À mesure que des sites potentiellement propices seront identifiés, en collaboration avec les collectivités intéressées, des études détaillées sur le terrain et des activités de caractérisation géoscientifique seront menées pour déterminer si le concept de dépôt à barrières multiples de la GAP peut être mis en œuvre de manière sûre et répondre aux exigences rigoureuses en vigueur.

À ce stade peu avancé du processus, avant que des sites aient été précisément délimités en vue d'études détaillées sur le terrain, il est utile de réaliser des études génériques pour illustrer la performance et la sûreté à long terme du système à barrières multiples en fonction de divers milieux géologiques.

Ce rapport décrit une étude de cas illustrative de la sûreté post-fermeture d'un dépôt géologique en profondeur construit dans une formation hypothétique de roche cristalline du Bouclier canadien. Il a pour but d'illustrer une évaluation de la sûreté post-fermeture qui respecte les exigences établies par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) dans le Guide G-320, *Évaluation de la sûreté à long terme de la gestion des déchets radioactifs*. Dans le cadre d'une demande de permis pour un véritable site candidat, une étude de cas exhaustive sera préparée. Celle-ci inclura les résultats des études géoscientifiques propres au site, la conception du dépôt géologique en profondeur réalisée en fonction du site choisi et une évaluation de la sûreté plus exhaustive que celle qui est décrite dans ce document.

Concept technique

Le modèle conceptuel actuel pour un environnement de roche sédimentaire consiste en un dépôt construit à une profondeur approximative de 500 m. Le dépôt comprend un réseau de salles de stockage pouvant contenir l'inventaire prévu de 4,6 millions de grappes de combustible irradié encapsulées dans approximativement 100 000 conteneurs de combustible irradié de longue durée. La conception des conteneurs comprend un matériau externe résistant à la corrosion (cuivre) et un matériau structural interne (acier). Le cuivre protégera les conteneurs contre la corrosion qui pourrait résulter des conditions associées aux profondeurs géologiques et l'acier du conteneur confèrera la solidité nécessaire pour résister aux charges hydrauliques et mécaniques anticipées, y compris les charges imposées par les glaciations.

Au sein de chaque salle de stockage, des conteneurs de combustible irradié, enchâssés dans des boîtes tampons en argile de bentonite, seront disposés et séparés des conteneurs adjacents par des blocs d'espacement en argile de bentonite. Les conteneurs seront empilés en échiquier en deux rangées décalées. Tous les interstices seront remblayés à l'aide d'un matériau de remplissage à base de bentonite.

La bentonite est un matériau argileux naturel durable qui se gonfle au contact de l'eau, ce qui lui confère une capacité d'auto-scellement qui la rend essentiellement étanche à l'écoulement de l'eau.

Géosphère

Un modèle de géosphère hypothétique a été défini d'après l'expérience acquise dans le cadre du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire. Il n'est pas basé sur un site particulier et il constitue un exemple d'environnement possible de roche cristalline. En combinaison avec les autres études de cas canadiennes réalisées pour d'autres environnements géologiques, ce rapport illustre les fondements de la sûreté à long terme d'un dépôt géologique en profondeur construit dans un éventail d'environnements.

La géosphère représente un élément important du système à barrières multiples. Elle constitue une barrière naturelle qui procurera au dépôt une stabilité hydrogéologique, géomécanique et géochimique pour en assurer la sûreté pendant la période requise (c.-à-d. un million d'années). La géosphère isole le dépôt des conditions de surface et lui fournit un environnement qui favorise la durabilité des conteneurs.

Évaluation de la sûreté post-fermeture

Le premier objectif de sûreté du dépôt géologique en profondeur est le confinement et l'isolement à long terme du combustible nucléaire irradié. La sûreté du dépôt sera assurée par la géologie locale, les propriétés des déchets, la conception technique, une exploitation prudente et les procédures d'assurance de la qualité utilisées, y compris les procédures d'examen et de surveillance.

L'évaluation de la sûreté post-fermeture a pour but de déterminer les effets potentiels du dépôt sur la santé et la sécurité de la population et de l'environnement au cours de la période suivant la fermeture du dépôt. La période couverte par l'évaluation est d'une

durée d'un million d'années et est basée sur le temps nécessaire pour que la radioactivité du combustible irradié décroisse essentiellement au niveau produit par la quantité équivalente d'uranium naturel. Il s'agit aussi d'une période qui se trouve à l'intérieur des limites d'une extrapolation raisonnable de la stabilité géologique des roches environnantes.

L'évaluation de la sûreté post-fermeture adopte des hypothèses basées sur les connaissances scientifiques et réalistes sur le plan physique concernant les processus et les données qui sont compris et qui peuvent être justifiés d'après les résultats des recherches réalisées. Lorsque des processus ou des données sont associés à des niveaux d'incertitude élevés, des hypothèses prudentes sont adoptées et décrites afin de limiter les incidences liées aux incertitudes.

Portée de l'évaluation de la sûreté post-fermeture

L'évaluation vise à démontrer la sûreté post-fermeture du dépôt assurée par les méthodes et les techniques associées à la conception la plus récente des conteneurs et des salles de stockage. Par conséquent, les cas analysés se limitent à ceux qui permettent de démontrer la sûreté de l'approche globale et à ceux qui permettent de parvenir à des conclusions possibles sur le site hypothétique. Les éléments exclus de la portée de l'évaluation, mais qui pourraient être pris en compte dans une demande de permis dans le cadre d'une évaluation plus exhaustive, sont également abordés.

Conformément aux exigences du guide G-320 de la CCSN, ce rapport prend en considération à la fois un scénario d'évolution normale et des scénarios d'événements perturbateurs.

Le scénario d'une évolution normale

Le scénario d'une évolution normale est basé sur une extrapolation raisonnable des caractéristiques du site et des modes de vie des récepteurs tels qu'ils sont aujourd'hui. Il comprend l'évolution prévue du site et la détérioration prévue du système de dépôt à mesure qu'il vieillit. Il vise à illustrer les incidences anticipées du dépôt sur les personnes et sur l'environnement.

Dans ce rapport, le scénario d'une évolution normale est décrit en termes de « Cas de référence », d'une étude de sensibilité « Cas de base » et d'une série d'études de sensibilité supplémentaires liées au « Cas de base ».

Les études de sensibilité illustrent la performance du dépôt en fonction d'une gamme d'écartés prévisibles par rapport aux hypothèses rattachées au Cas de référence. Ces écartés sont le résultat de composants placés dans le dépôt qui (a) ne répondraient pas à leurs normes de conception ou (b) ne fonctionneraient pas complètement comme prévu.

La probabilité de tels écartés sera très faible. Un soin particulier est apporté à la conception, à la mise au point et à la mise à l'épreuve de la technologie de fabrication et de mise en place qui sera mise en œuvre en combinaison avec un programme exhaustif d'assurance de la qualité. Le programme d'assurance de la qualité comptera comme éléments essentiels un processus d'inspection conçu pour faire en sorte que tous les composants placés répondent aux normes de conception. De même, la performance

des composants est soutenue par un programme exhaustif de recherche et d'essais, qui fera en sorte que les caractéristiques des matériaux placés dans le dépôt seront également bien cernées.

Cas de référence

Le Cas de référence représente la situation où tous les composants du dépôt répondent à leur norme de conception et fonctionnent comme prévu. Dans ce cas, les conteneurs de combustible irradié demeurent intacts de manière essentiellement indéfinie et aucun rejet de contaminant ne survient au cours de la période pertinente d'un million d'années. Les doses radiologiques reçues par le public et l'environnement sont par conséquent nulles.

Cas de base

Il est plausible que certains conteneurs aient une défaillance. Pour illustrer la performance du dépôt en cas de défaillance de conteneurs, l'étude de sensibilité « Cas de base » présume que le revêtement de cuivre d'un petit nombre de conteneurs a des défauts de fabrication notables et qu'un plus petit nombre de ces conteneurs ne répondant pas aux normes échappent à la détection du programme d'assurance de la qualité et sont inconsciemment placés dans le dépôt.

Des études ont été entreprises pour déterminer la probabilité de tels défauts et le nombre de conteneurs hors normes qui pourraient être présents; toutefois, les résultats de ces études ne sont pas encore connus. En attendant, on présume la présence de 10 conteneurs dont le revêtement de cuivre comporte des défauts non décelés importantes. Les études post-fermeture qui présument la présence de 10 conteneurs défectueux sont suffisantes pour illustrer la performance du dépôt et pour fournir une mesure des incidences qui pourraient être attendues dans le cas d'un tel événement ou d'un événement similaire.

L'importance des défauts est présumée suffisante pour entraîner la défaillance des 10 conteneurs à l'intérieur d'un délai d'un million d'années. Comme la nature (taille, endroit précis) réelle de chaque défaut variera, il est hautement improbable que les 10 conteneurs flanchent simultanément. Il est présumé que les défaillances se répartiront de manière uniforme au cours de la période d'un million d'années couverte par l'évaluation, la première défaillance survenant au bout de 1 000 ans et les défaillances subséquentes survenant à intervalles de 100 000 années.

Des défaillances des systèmes de fabrication, de mise en place et d'assurance de la qualité pourraient également avoir des incidences sur d'autres composants du dépôt. Par exemple, des matériaux hors normes pourraient inconsciemment être utilisés dans la fabrication de la bentonite des boîtes tampons, des blocs d'espacement des salles de stockage ou des pastilles de bentonite. Des matériaux hors normes pourraient aussi être inconsciemment utilisés lors de la construction des sceaux des tunnels et des puits du dépôt. Les salles de stockage et les tunnels d'accès pourraient outrepasser leurs dimensions de conception si le dynamitage retire trop de roche à certains endroits, ce qui entraînerait une utilisation accrue des pastilles de bentonite et l'établissement potentiel de conditions plus favorables à la prolifération microbienne.

Le résultat final principal de telles défaillances pourrait être : (a) l'absence de toute conséquence néfaste ou (b) la défaillance précoce d'un ou plusieurs conteneurs. Des études sont en cours pour déterminer la probabilité que des composants du dépôt ne répondent pas à leurs normes de conception et le nombre possible de ces composants; toutefois, les résultats de ces travaux ne sont pas encore connus. En attendant, pour les besoins de cette évaluation de la sûreté post-fermeture, les défaillances dans la fabrication et dans la vérification d'autres composants du dépôt qui pourraient entraîner la défaillance de conteneurs sont présumées être couvertes par le Cas de base et les cas de sensibilité pertinents.

Pour définir plus précisément le Cas de base, un certain nombre d'hypothèses limitatives sont faites pour tenir compte des incertitudes ayant une influence sur la définition du cas. Une « hypothèse limitative » est une hypothèse qui entraîne des incidences plus importantes que la gamme d'incertitude entière, habituellement aux dépens du réalisme. À des fins d'illustration, le Cas de base remplace l'incertitude associée à l'emplacement et au mode de vie des personnes qui résideront dans le futur à proximité du dépôt par une hypothèse selon laquelle des personnes vivent sans le savoir au-dessus du dépôt et tirent toute leur eau potable et d'irrigation agricole d'un puits profond situé à un endroit qui maximise l'absorption de tout contaminant rejeté.

L'adoption d'hypothèses limitatives est une technique communément employée dans les évaluations de sûreté. Elle permet de simplifier des problèmes complexes, l'inconvénient étant que le cas résultant n'est plus le plus réaliste qui soit. Bien que cette technique soit acceptable du point de vue de l'obtention d'un permis (pourvu que les résultats répondent aux critères d'acceptation), elle peut faire apparaître la performance du dépôt beaucoup moins bonne qu'elle ne l'est en réalité. Ce rapport aborde par conséquent la question des principales hypothèses limitatives / conservatrices et les compare à des scénarios plus probables.

Études de sensibilité pour le Cas de base

Un dépôt géologique en profondeur est un système à barrières multiples. Les cas de sensibilité déterministes suivants sont examinés pour illustrer les incidences des différences relatives à la performance des barrières sur les résultats du Cas de base :

La barrière que constitue le combustible :

- le taux de dissolution du combustible est accru par un facteur de 10;
- la fraction instantanément rejetée pour tous les radionucléides est établie à 0,10 (10 % de l'inventaire complet est instantanément rejeté).

La barrière que constitue la gaine en zircaloy :

Aucune contribution n'est accordée dans l'évaluation de la sûreté post-fermeture à la gaine de combustible en zircaloy comme barrière contre le rejet de contaminants par le combustible. Toutefois, comme la gaine contient elle-même des contaminants et comme l'analyse préalable a déterminé que certains de ces contaminants étaient potentiellement importants, les cas suivants ont été simulés dans le cadre d'analyses de sensibilité liées au zircaloy :

- le taux de dissolution du zircaloy est accru par un facteur de 10;
- la fraction instantanément rejetée pour tous les contaminants contenus dans la gaine de zircaloy est établie à 0,10.

La barrière que constitue le conteneur :

- les 10 conteneurs connaissent une défaillance au bout de 1000 ans;
- 50 conteneurs connaissent une défaillance au bout de 1000 ans;
- 50 et 1000 conteneurs connaissent une défaillance au bout de 10 000 ans;
- une faible sorption des matériaux des barrières ouvragées combinée à une limite de solubilité élevée du conteneur;
- la solubilité du conteneur n'a aucune limite.

La barrière que constituent la boîte-tampon, le remblayage et les éléments de scellement :

- la conductivité hydraulique de tous les matériaux (y compris le remblayage des tunnels, le béton et tous les matériaux scellant les puits) est accrue par un facteur de 10;
- une faible sorption des matériaux des barrières ouvragées combinée à une limite de solubilité élevée du conteneur;
- il n'y a aucune sorption dans le champ rapproché.

La barrière que constitue la géosphère :

- les conductivités hydrauliques sont accrues par un facteur de 10;
- les conductivités hydrauliques sont diminuées par un facteur de 10;
- la conductivité hydraulique des zones endommagées par l'excavation (ZEE) est accrue par un facteur de 10;
- l'éloignement minimal des fractures est réduit de 100 m à 50 m, 25 m et 10 m;
- les paramètres de sorption sont fixés à deux écarts-types en dessous de la moyenne;
- la dispersivité est augmentée et diminuée par un facteur de 5.

D'autres cas non énumérés ici sont également examinés pour illustrer les incidences de certaines hypothèses en matière de puits (en particulier, l'absence d'un puits et la collecte d'eau depuis les eaux de surface) et les incidences des hypothèses liées aux paramètres de modélisation (par exemple, le pas de temps et la taille du maillage).

Pour fournir une indication du comportement du dépôt en tenant compte de l'incertitude associée à de multiples paramètres, deux types d'études de sensibilité probabilistes ont également été réalisées. Dans le cadre de ces simulations, un échantillonnage aléatoire est employé pour moduler simultanément plusieurs paramètres d'entrée dont les fonctions de densité sont connues. Les paramètres de rejet et de transport des radionucléides sont modulés et la géosphère de référence est maintenue fixe.

Les cas particuliers qui ont fait l'objet d'une analyse probabiliste sont :

- le nombre, l'emplacement et le moment de défaillance des conteneurs défectueux sont maintenus aux valeurs du Cas de base et les autres paramètres disponibles sont modulés;

- le nombre, l'emplacement et le moment de défaillance des conteneurs défectueux sont modulés et les autres paramètres sont maintenus aux valeurs du Cas de base.

Tous les cas de sensibilité sont basés sur l'hypothèse d'un climat tempéré constant; toutefois, au cours du dernier million d'années, une grande partie du Canada a été recouverte par des nappes glaciaires d'une épaisseur d'un kilomètre. Les principaux facteurs qui ont déclenché ces cycles (c.-à-d., les variations d'insolation résultant de la dynamique orbitale de la Terre et l'emplacement et la taille des continents) sont toujours présents. Les niveaux actuels de gaz à effet de serre dans l'atmosphère pourraient retarder la prochaine glaciation, mais on prévoit que des cycles glaciaires réapparaîtront au cours de la période couverte par cette évaluation de la sûreté post-fermeture.

Les incidences des glaciations sont traitées dans un exposé basé sur l'analyse d'un scénario glaciaire réalisée dans le cadre de travaux menés antérieurement pour une différente géosphère et un différent modèle de dépôt. Les caractéristiques importantes de cette étude glaciaire sont décrites et son applicabilité à la présente étude est abordée.

Scénarios d'événements perturbateurs

Des scénarios d'événements perturbateurs postulent des événements improbables pouvant entraîner une pénétration des barrières et une perte de confinement anormale.

Les scénarios de perturbations suivants sont applicables au modèle conceptuel et à la géosphère hypothétique évalués dans cette étude. Ils ont été ciblés en prenant en considération les caractéristiques, les événements et les processus qui sont importants pour le système du dépôt ainsi que les principales barrières :

- une intrusion humaine fortuite;
- la défaillance de tous les conteneurs;
- la défaillance des éléments de scellement du dépôt;
- un scellement insuffisant des trous de sonde;
- une faille rocheuse non décelée;
- la défaillance de certains conteneurs;
- un dépôt partiellement scellé.

Les trois premiers scénarios sont analysés dans le cadre de cette évaluation illustrative de la sûreté. On reconnaît que pour un véritable site, tous les scénarios de perturbations devraient être évalués.

Le scénario d'une intrusion humaine fortuite prend en considération la possibilité qu'un trou de sonde soit foré en profondeur sur le site dans le futur. Ce scénario constitue un cas spécial, selon le guide G-320 de la CCSN, puisqu'il outrepassé le système des barrières multiples. La probabilité d'un tel événement est très faible en raison des contrôles institutionnels mis en œuvre et des balises placées sur le site et parce que les conteneurs de combustible irradié seront stockés à grande profondeur dans le sol dans un lieu ne comptant pas de ressources minérales exploitables sur le plan économique ou de ressources en eau potable pouvant favoriser la réalisation de travaux de forage. De plus, les pratiques normales de forage (par exemple, le contrôle des fluides de

forage, l'utilisation de la radiographie à rayons gamma, etc.) diminueraient les conséquences réelles comparativement à celles qui sont estimées ici.

L'analyse du scénario d'une défaillance de tous les conteneurs examine les conséquences d'une défaillance de tous les conteneurs au bout de 10 000 ans et de 60 000 ans. Ce scénario prend aussi en considération les conséquences liées aux gaz résultant de la décomposition des matières organiques et de la corrosion de l'acier.

Le scénario d'une défaillance des éléments de scellement du dépôt prend en considération les conséquences d'une efficacité moins bonne que prévu des éléments de scellement des tunnels et des puits.

Le scénario du scellement insuffisant des trous de sonde constitue aussi un scénario de perturbation parce qu'il crée un chemin qui traverse la géosphère à faible perméabilité. Toutefois, aussi longtemps que les trous de sonde sont forés à une distance suffisante des structures souterraines du dépôt, il est improbable qu'ils aient une importance en raison de leur faible diamètre et des limites du transport par diffusion. Ce scénario serait analysé dans le cadre d'une évaluation réalisée pour un véritable site, lorsque les distances des trous de sonde seraient connues; toutefois, les conséquences devraient être faibles.

Dans le cas du scénario d'une faille non décelée, on prévoit que toute fracture importante croisant le dépôt qui ne serait pas décelée lors de la caractérisation du site serait découverte lors de la construction, et que des mesures d'atténuation appropriées pourraient alors être prises. Ces mesures pourraient comprendre une modification du plan du dépôt qui permettrait d'éviter les voies de transmission importantes.

Le scénario de la défaillance de certains conteneurs prend en considération la défaillance de certains conteneurs due à des conditions *in situ* imprévues. Il diffère du Cas de base d'une évolution normale, où un défaut non détecté de certains conteneurs constitue l'événement déclencheur. Bien qu'une analyse détaillée du scénario de la défaillance de certains conteneurs ne soit pas incluse dans cette étude, on prévoit que la dose maximale attribuable à un tel événement serait considérablement moindre que la dose associée au scénario d'une défaillance de tous les conteneurs du fait du nombre beaucoup plus petit de conteneurs touchés.

Le scénario du dépôt partiellement scellé prend en considération les conséquences liées à l'abandon du dépôt alors que les puits ne seraient pas scellés. Il implique un effondrement de la société dans un avenir rapproché.

Tous les scénarios d'événements perturbateurs sont analysés à l'aide de méthodes déterministes, puisque les paramètres fondamentaux qui définissent les scénarios sont choisis de manière conservatrice.

Résultats du scénario d'une évolution normale

Pour les besoins de ce résumé, seuls les résultats des cas mesurés en fonction des critères d'acceptation provisoires établis pour la protection radiologique des personnes sont présentés. Dans le corps de ce rapport, les auteurs présentent les résultats de cas mesurés en fonction des critères provisoires liés à la protection des personnes contre les substances dangereuses, les critères provisoires liés à la protection radiologique de l'environnement et les critères provisoires liés à la protection de l'environnement contre les substances dangereuses.

Dans le corps du rapport, les auteurs présentent également les résultats liés à deux indicateurs radiologiques complémentaires (c.-à-d., les concentrations de radionucléides dans la biosphère et le transport des radionucléides vers la biosphère).

Résultats des analyses déterministes

Les résultats de l'évaluation du scénario d'une évolution normale et des études de sensibilité réalisées sont illustrés à la figure E1.

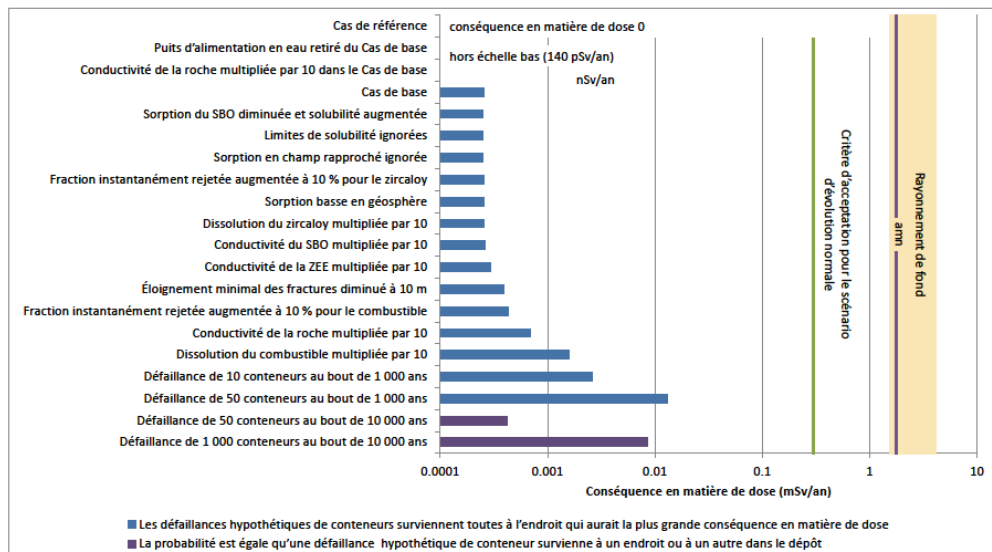


Figure E1 : Résultats des analyses de sensibilité et des évaluations limitatives

Le débit de dose est nul pour le Cas de référence.

Pour les autres cas, les résultats montrent que l'I-129 contribue majoritairement à la dose de rayonnement reçue pour les raisons suivantes : le volume initial d'I-129 est considérable, sa fraction de rejet instantané est non nulle, sa période radioactive est très longue, sa solubilité n'est pas limitée, il n'est pas sorbé par la boîte tampon, le remblayage et la géosphère et il a un effet radiologique sur les humains. Tous les autres produits de fission et actinides se désintègrent à un niveau acceptable ou sont rejetés

très lentement à mesure que le combustible se dissout et sont subséquemment sorbés dans les barrières ouvragées et la géosphère.

Pour le Cas de base, le débit de dose maximal est de $2,5 \times 10^{-4}$ mSv/a et survient au bout de 23 300 ans. Ce débit de dose est nettement inférieur au débit de dose moyen au Canada lié au rayonnement de fond, qui est de 1,8 mSv/a et qui est 1200 fois inférieur au critère d'acceptation provisoire pour le débit de dose (0,3 mSv/a) établi dans ce rapport pour la protection radiologique des personnes.

Le débit de dose réel pourrait être inférieur de plusieurs ordres de grandeur, selon l'endroit où sont situés les conteneurs défectueux, qu'un puits est présent ou non et l'emplacement d'un tel puits par rapport aux conteneurs défectueux. Les résultats à cet effet sont présentés dans le corps de ce rapport.

Les autres études de sensibilité réalisées pour illustrer les effets des écarts relatifs à la performance des barrières ont montré que la majorité de ces écarts auraient peu ou pas d'effet sur la dose pouvant être reçue. Les cas d'étude de sensibilité qui ont été reliés à une augmentation du débit de dose étaient :

- la défaillance de 10 conteneurs au bout de 1000 ans aurait comme conséquence une augmentation par un facteur de 10 de la dose potentielle;
- une augmentation du taux de dissolution du combustible par un facteur de 10 aurait comme conséquence une augmentation par un facteur de 6,2 de la dose potentielle;
- une augmentation des conductivités hydrauliques de la géosphère par un facteur de 10 aurait comme conséquence une augmentation par un facteur de 2,6 de la dose potentielle;
- une diminution de l'éloignement minimal des fractures à une distance de 10 m augmenterait la dose potentielle par approximativement un facteur de 1,5;
- une diminution de la dispersivité de la géosphère par un facteur de 5 aurait pour résultat une augmentation de la dose potentielle par un facteur de 1,5.

Comme le montre l'analyse de sensibilité du cas de la défaillance des 10 conteneurs, la défaillance des 10 conteneurs au même moment et au même endroit que la première défaillance présumée dans le Cas de base entraînerait effectivement une augmentation proportionnelle des rejets et, par conséquent, de la dose potentiellement reçue.

Les cas de défaillance d'un plus grand nombre de conteneurs, particulièrement ceux qui portent sur la défaillance de 50 et 1000 conteneurs, montrent que le débit de dose pourrait être supérieur ou inférieur à celui du Cas de base, le résultat dépendant fortement de l'endroit où les conteneurs qui subissent une défaillance sont situés dans le dépôt par rapport au puits.

L'analyse de sensibilité réalisée pour le cas d'une glaciation montre qu'une augmentation potentielle de la dose par un facteur de 10 pourrait avoir lieu. Cette augmentation serait due à l'accumulation des radionucléides au cours de la période glaciaire et à leur rejet subséquent à un moment où des humains arriveraient et creuseraient un puits traversant la zone contaminée. Dans la réalité, l'effet pourrait être considérablement plus faible, selon le moment et l'endroit où le puits serait établi.

Résultats des analyses probabilistes

Les analyses probabilistes de cas examinent les effets d'une modulation simultanée de plusieurs paramètres.

Le premier cas probabiliste, où le nombre, l'emplacement et le moment de défaillance des 10 conteneurs défectueux sont les mêmes que dans le Cas de base, alors que tous les autres paramètres disponibles sont modulés, permet d'évaluer dans une certaine mesure l'incertitude globale liée au Cas de base. Le débit de dose du 95^e percentile émergeant des 100 000 simulations effectuées serait de $9,1 \times 10^{-4}$ mSv/a, ou 3,6 fois la valeur associée au Cas de base. Il s'agit d'une valeur 330 fois inférieure au critère provisoire du débit de dose établi de 0,3 mSv/a.

Le second cas probabiliste, où le nombre, l'emplacement et le moment de défaillance des conteneurs défectueux sont modulés alors que tous les autres paramètres disponibles sont fixes, fournit une indication de l'incidence associée à différents moments de défaillance des conteneurs et à différents lieux de défaillance des conteneurs par rapport à l'emplacement du puits adopté dans le Cas de base. Le débit de dose du 95^e percentile émergeant des 100 000 simulations effectuées serait de $2,2 \times 10^{-4}$ mSv/a, une valeur inférieure à celle du Cas de base. Cette donnée est attribuable au fait que, bien qu'un plus grand nombre de conteneurs puissent subir une défaillance, la répartition aléatoire des défaillances dans le dépôt aurait pour résultat que l'effet subi par le principal puits récepteur à l'endroit établi serait moins important.

Résultats des scénarios d'événements perturbateurs

Les principaux résultats de l'analyse du scénario de l'événement perturbateur d'une défaillance de tous les conteneurs et du scénario de l'événement perturbateur d'une défaillance des éléments de scellement du dépôt sont :

- La défaillance de tous les conteneurs au bout de 60 000 ans occasionnerait un débit de dose maximal de 0,63 mSv/a alors que la défaillance de tous les conteneurs au bout de 10 000 ans occasionnerait un débit de dose maximal de 0,81 mSv/a. Ces deux résultats sont inférieurs au critère provisoire d'acceptation du débit de dose établi dans ce rapport pour les événements perturbateurs.
- Le scénario de la défaillance des éléments de scellement du dépôt n'a aucun effet sur la dose comparativement au Cas de base si le puits / les conteneurs défectueux sont situés aux mêmes endroits que dans le Cas de base. Si le puits est établi à d'autres endroits, les calculs prévoient même que les doses seraient inférieures.

Le scénario de l'intrusion humaine fortuite outrepassé toutes les barrières et fait remonter du combustible irradié directement à la surface par le biais d'un puits de forage. Les conséquences associées au cas où l'intrusion serait promptement reconnue seraient la réception d'une dose d'approximativement 100 mSv par l'équipe de forage et d'aucune dose par le public, puisque le site serait sécurisé. Si l'intrusion n'était pas reconnue et si des matières composant le combustible irradié étaient laissées en surface sur le site et qu'une personne vivait sur le site, cette personne pourrait recevoir une dose de plusieurs centaines de mSv chaque année. Toutefois, l'emplacement du dépôt, sa conception et les contrôles institués en matière d'utilisation des terres rendraient cette éventualité très improbable.

Autres incidences potentielles

Les résultats des analyses de cas examinant la protection des personnes contre les substances dangereuses, la protection radiologique de l'environnement et la protection de l'environnement contre les substances dangereuses étaient également conformes aux critères d'acceptation provisoires associés.

Conclusion

Ce rapport décrit la conception de référence d'un dépôt géologique en profondeur construit dans une formation de roche cristalline et fournit un exemple d'approche structurée, systématique et conforme au Guide G-320 de la CCSN qui pourrait être utilisée pour évaluer la sûreté post-fermeture du dépôt. Cet exemple d'évaluation comprend une description du système de dépôt, présente systématiquement les scénarios, les modèles et les méthodes utilisés pour évaluer la sûreté, s'appuie sur différentes stratégies d'évaluation, tient compte des incertitudes et compare les résultats obtenus avec des critères d'acceptation provisoires.

L'évaluation de la sûreté post-fermeture montre, pour le scénario d'une évolution normale et les cas de sensibilité associés, que tous les critères d'acceptation provisoires non radiologiques seraient remplis au cours de la période post-fermeture avec une marge de sûreté substantielle. Ce résultat est conforme à ceux d'évaluations précédentes réalisées pour un dépôt géologique en profondeur au Canada ainsi qu'à ceux d'études d'évaluation de la sûreté réalisées par des organismes nationaux de gestion des déchets radioactifs d'autres pays.