

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 novembre 2021

Société de gestion des déchets nucléaires

Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs Élaboration d'un plan initial – Caractérisation et options

Estimation des coûts

30 nov. 2021	0		B. Mahoney / M. Zigin	J.O.C. Imrie / G. Schneider	B. Gihm
Date	Rév.	État	Préparé par	Révisé par	Approuvé par
HATCH					

H365930-0000-200-066-0002, rév. 0

Page i

Tous les documents imprimés sont des copies non vérifiées. Seules les copies électroniques trouvées sur InsideHatch sont vérifiées et approuvées. Il incombe à l'utilisateur de s'assurer que la révision du document qu'il consulte est la version la plus récente et qu'elle a été approuvée. © Marque de commerce Hatch. Tous droits réservés, y compris tous les droits relatifs à l'utilisation de ce document ou de son contenu.

Sommaire

Ce rapport d'estimation des coûts a été préparé pour appuyer la planification initiale de la Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs (SIDR), une stratégie de gestion à long terme des déchets de faible et moyenne activité (DMA) canadiens. Cette estimation des coûts a été préparée en conjonction avec le rapport Élaboration d'un plan initial – Caractérisation et options [1], qui a fourni des recommandations concernant les options possibles de gestion à long terme des DFMA canadiens, pour lesquels il n'existe actuellement aucun plan de gestion à long terme. L'objectif de ce rapport était de fournir des coûts indicatifs par unité de volume de déchets pour les six (6) options potentielles de gestion à long terme suivantes :

- Monticule ouvragé de confinement (MOC)
- Enceintes de bétons (EB)
- Caverne rocheuse peu profonde (CRPP)
- Dépôt géologique en profondeur (DGP)
- Forages profonds (FP)
- Intendance perpétuelle (IP).

L'estimation des coûts a été préparée conformément aux lignes directrices et aux pratiques recommandées par l'Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) pour une estimation des coûts de catégorie 5. Une base de conception préliminaire et une base de coûts ont été établies pour chaque option d'après les informations publiquement accessibles et l'avis de spécialistes de Hatch des secteurs nucléaire et non nucléaire. Les résultats de cette estimation des coûts sont présentés dans le tableau ES-1 et sont illustrés graphiquement dans la figure ES-1. Il convient de souligner que ce rapport a été préparé pour comparer les coûts relatifs des différentes options de stockage de déchets par unité de volume et qu'il ne doit pas être utilisé pour l'estimation absolue du coût global de chaque option. L'intendance perpétuelle est présentée en trois sous-options (300, 500 et 1 000 ans) pour une comparaison relative avec les autres options.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 novembre 2021

Tableau ES-1 : Résumé du coût de chaque option de gestion à long terme

Option de gestion à long terme	Coût [CAN/m ³]*			Plage de précision appliquée
	Faible	Moyen	Élevé	
Monticule ouvragé de confinement	1 900	2 700	4 200	-30 % à +50 %
Enceintes de béton	3 500	5 000	7 500	-30 % à +50 %
Caverne rocheuse peu profonde	3 300	4 700	9 500	-30 % à +100 %
Dépôt géologique en profondeur	18 300	26 200	39 300	-30 % à +50 %
Forages profonds	123 000	247 000	493 000	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (300 ans)	3 200	6 300	12 700	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (500 ans)	4 400	8 900	17 800	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (1 000 ans)	7 600	15 200	30 500	-50 % à +100 %

* Le coût est indiqué en dollars canadiens de 2021 et ne reflète pas une indexation future des prix ni une actualisation de la valeur actuelle nette. L'estimation des coûts exclut les frais de transport et les économies pouvant être réalisées grâce au regroupement de plusieurs installations.

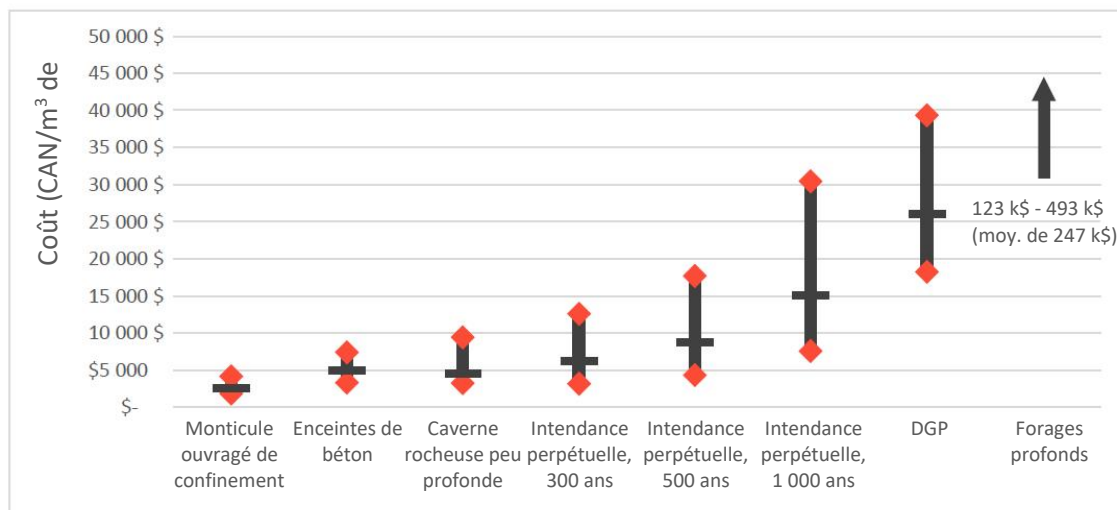


Figure ES-1 : Graphique résumant le coût de chaque option de gestion à long terme, plage de précision comprise

La base des estimations pour le DGP et les forages profonds (quantité de déchets et durée de la période d'exploitation) est différente de celle des autres options, comme l'expliquent les sections 2.2.1 et 2.2.3. L'estimation des coûts s'appuie sur les scénarios de gestion et la taille des installations de référence pour chaque option tirés des recommandations formulées dans le rapport technique [1]. Il convient de noter que le coût par unité de volume de chaque installation de gestion à long terme diminuera si des économies d'échelle sont réalisées, et que les résultats présentés dans ce rapport pourraient varier si

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 novembre 2021

Le volume de déchets de référence change. L'influence des économies d'échelle est illustrée, de manière approximative, dans la figure ES -2.

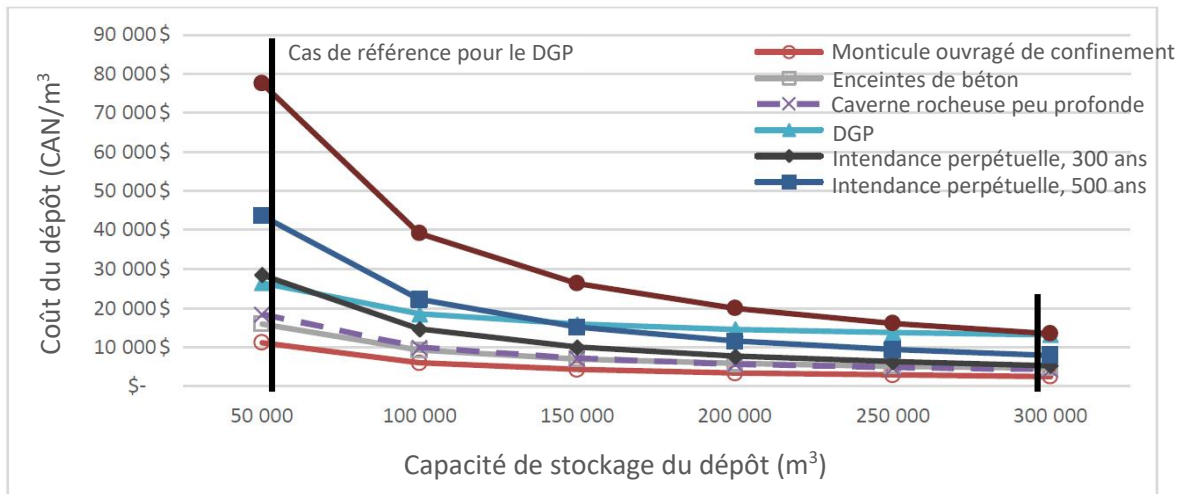


Figure ES-2 : Effet indicatif de la modification de la taille de l'installation sur le coût unitaire.

La plage de précision et l'option des forages profonds ne sont pas représentées pour plus de clarté.

Les quatre options à faible coût (MOC, enceintes de béton, caverne rocheuse peu profonde et intendance perpétuelle sur 300 ans) sont considérées comme adaptées uniquement aux déchets de faible activité (DFA) et les trois premières pourraient ne pas répondre aux exigences relatives aux déchets de moyenne activité (DMA) du cadre réglementaire canadien actuel¹. Toutefois, les plages de précision des quatre options se chevauchent, de sorte qu'il est recommandé de poursuivre les recherches et de définir plus précisément l'option la plus économique, parmi plusieurs critères d'évaluation des options.

En ce qui concerne le stockage des DMA dans un DGP ou des forages profonds, nous avons établi qu'une installation à forages profonds serait approximativement 10 fois plus coûteuse qu'un DGP par unité de volume de déchets. En outre, l'option des forages profonds ne permettrait d'éliminer qu'une partie de l'inventaire des DMA visés par la SIDR¹. Un DGP serait nécessaire pour le stockage du reste des DMA. Par conséquent, les

¹ Comme l'indique le rapport technique [1], plusieurs pays ont une expérience en matière de stockage des DMA à vie courte dans des cavernes rocheuses peu profondes. Au Canada, il n'existe

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 novembre 2021

coûts supplémentaires élevés associés à l'exploitation d'une ou de plusieurs installations à forages profonds pourraient ne pas convenir au stockage des DMA dans le cadre de la SIDR.

Les coûts de transport et la mise en œuvre d'une approche décentralisée (c.-à-d. plusieurs installations dispersées) ou d'une approche centralisée (c.-à-d., une seule installation avec une ou plusieurs options de gestion à long terme) n'ont pas été pris en compte dans cette estimation des coûts. Ces considérations devront être examinées et optimisées plus avant à mesure que le projet avance.

L'estimation comparative des coûts présentée dans ce rapport est assortie d'observations et de recommandations pour une étude plus approfondie dans le cadre de la SIDR. Compte tenu de l'état préliminaire des éléments conceptuels et des bases de coûts établis pour ce plan initial, il conviendrait de définir plus précisément chaque option de gestion à long terme et d'examiner la possibilité de mettre en œuvre une approche décentralisée ou centralisée.

pas de classification pour les DMA à vie courte, de sorte que des recherches supplémentaires seraient nécessaires dans ce domaine.

H365930-0000-200-066-0002, rév. 0

Page v

Historique des révisions

N° de révis.	Description de la modification	Date de révision
0	Utilisation approuvée	30 nov. 2021

Table des matières

1	Introduction	1
2	Estimation des coûts	2
2.1	Méthodologie	2
2.2	Informations et hypothèses utilisées pour l'estimation	2
2.2.1	Taille de l'installation de référence	2
2.2.2	Hypothèses concernant l'inventaire des déchets	3
2.2.3	Hypothèses concernant le projet	4
2.2.4	Hypothèses financières	5
2.2.5	Précision d'estimation	5
2.2.6	Devise	5
2.3	Facteurs de coûts communs	5
2.3.1	Coûts du cycle de vie du projet	5
2.3.2	Coûts des infrastructures et des services communs	12
2.4	Facteurs de coûts propres à chaque installation	14
2.4.1	Enceintes de béton	14
2.4.2	Caverne rocheuse peu profonde	14
2.4.3	Monticule ouvragé de confinement	15
2.4.4	Dépôt géologique en profondeur	15
2.4.5	Forages profonds	15
2.4.6	Intendance perpétuelle	16
3	Résumé de l'évaluation	16
3.1	Coût unitaire de chaque option de gestion à long terme	16
3.2	Ventilation des coûts	19
3.3	Taille de l'installation et économies d'échelle	20
3.4	Influence de la durée de la période d'exploitation sur les coûts	21
3.5	Expérience internationale	22
4	Discussion et recommandations pour une étude plus approfondie	23
4.1	Observations générales sur les installations	24
4.2	Observations propres à chaque installation	24
4.3	Facteurs d'échelle	26
4.4	Considérations relatives au traitement des déchets	26
4.5	Considérations relatives à l'utilisation d'une approche centralisée ou décentralisée	27
4.6	Considérations liées au transport	28
5	Références	29

Liste des figures

Figure 3-1 : Graphique résumant le coût de chaque option de gestion à long terme, plage de précision comprise	18
Figure 3-2 : Coût par phase de développement pour chaque option de gestion à long terme....	19
Figure 3-3 : Coûts fixes et variables pour chaque option de gestion à long terme.....	20
Figure 3-4 : Effet indicatif de la modification de la taille de l’installation sur le coût unitaire. (La plage de précision et l’option des forages profonds ne sont pas représentées pour plus de clarté)	21
Figure 3-5 : Comparaison entre le coût de plusieurs installations étrangères de stockage proche de la surface	23

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Contenu présumé des déchets et taille des installations de référence pour chaque option de gestion à long terme	3
Tableau 2-2 : Coûts fixes et coûts variables par phase du projet.....	6
Tableau 2-3 : Calendrier prévu de la phase de déclassement et de fermeture	9
Tableau 2-4 : Calendrier prévu de la phase de déclassement/fermeture	11
Tableau 2-5 : Matrice des infrastructures et des services communs.....	13
Tableau 3-1 : Sommaire du coût de chaque option de gestion à long terme	17
Tableau 3-2 : Influence de la durée de la phase d’exploitation sur les coûts.	22

Nomenclature

Abréviation/	Définition
AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
EACL	Énergie atomique du Canada limitée
GAP	Gestion adaptative progressive – le plan canadien de gestion à long terme du combustible nucléaire irradié.
CANDU	Canada Deuterium Uranium – réacteur canadien à eau lourde qui est actuellement le seul type de réacteur de puissance en service au Canada.
LNC	Laboratoires nucléaires canadiens
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
EB	Enceintes de béton
DGP	Dépôt géologique en profondeur
Stockage	L'élimination des déchets radioactifs sans intention de récupération.
MOC	Monticule ouvragé de confinement
DMA	Déchets radioactifs de moyenne activité, tels que définis dans [2].
DFA	Déchets radioactifs de faible activité, tels que définis dans [2].
Gestion à long terme	La gestion à long terme des déchets nucléaires radioactifs par le biais de l'entreposage ou du stockage.
DFMA	Déchets radioactifs de faible activité, tels que définis dans [2].
SGDN	Société de gestion des déchets nucléaires
OPG	Ontario Power Generation
IP	Intendance perpétuelle
CRPP	Caverne rocheuse peu profonde
Déchets	Les <i>déchets</i> abordés dans ce rapport sont des déchets radioactifs, sauf indication contraire (par exemple, <i>déchets non nucléaires</i>).
Propriétaire des déchets	Le <i>propriétaire</i> des déchets est l'organisation actuellement responsable des déchets radioactifs.
WWMF	Installation de gestion des déchets Western (Western Waste Management Facility), détenue et exploitée par OPG, et située sur le site de la centrale nucléaire de Bruce.

1 Introduction

La Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) a été chargée par le ministre des Ressources naturelles du Canada d’élaborer une stratégie de gestion des déchets radioactifs de faible et moyenne activité (DFMA) canadiens. La SGDN a identifié six (6) options envisageables pour la gestion à long terme des DMA canadiens. Ces options sont :

- le monticule ouvragé de confinement (MOC)
- les enceintes de bétons (EB)
- la caverne rocheuse peu profonde (CRPP)
- le dépôt géologique en profondeur (DGP)
- les forages profonds (FP)
- l’intendance perpétuelle (IP).

Les renseignements sur ces options sont présentés plus en détail sur le site Web de la Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs (SIDR)². Certains détails généraux concernant ces options sont également fournis dans l’annexe A.

La SGDN a confié à la société Hatch la tâche d’analyser la pertinence technique de ces six options de gestion à long terme des déchets par rapport à l’inventaire et aux caractéristiques actuels des DFMA canadiens. Le rapport d’évaluation a été publié dans le Rapport de projet de la SIDR [1].

En plus de leur pertinence technique, le coût des options de gestion à long terme des déchets devrait être pris en compte dans l’élaboration de la SIDR. La SGDN a donc demandé à Hatch d’estimer le coût de chacune des six options de gestion à long terme identifiées.

Ce rapport présente le résultat des travaux d’estimation des coûts pour les options de gestion des DFMA, qui ont été réalisés en s’appuyant sur des scénarios de référence. En conjonction avec le rapport technique [1], ce rapport d’estimation des coûts sera utilisé pour éclairer les discussions avec le public et les parties prenantes en vue de l’élaboration de la SIDR.

² URL du site Web : <https://plandechetsradioactifs.ca/content/pour-en-savoir-plus>

2 Estimation des coûts

2.1 Méthodologie

L'estimation des coûts potentiels présentée dans ce rapport est basée sur des estimations de coûts réels réalisées par Hatch dans le passé pour des installations semblables. Elle s'appuie également sur l'expérience de secteurs parallèles (par exemple, le nucléaire, les mines, le pétrole et le gaz, et la construction industrielle) et sur les avis de spécialistes en la matière de Hatch. Lorsque des données étrangères étaient disponibles, l'estimation des coûts fournie a été comparée à ces données.

Pour chaque option, le coût du cycle de vie a été déterminé suivant une approche ascendante d'estimation des coûts pour chaque phase de développement (sélection du site, autorisations réglementaires, conception et construction, exploitation, déclassement et fermeture, et surveillance). Des infrastructures et installations communes ont été identifiées pour chaque option de gestion à long terme (par exemple, les bureaux, les services publics, la sécurité, etc.) et leurs coûts ont été estimés sur une base générale. Les coûts reliés à une installation en particulier sont également identifiés et estimés pour chaque option de gestion à long terme.

Les coûts qui dépendent de la taille de l'installation (c'est-à-dire le volume total de déchets stockés) ont été examinés de façon distincte pour identifier les coûts variables. Les coûts fixes et variables ont été estimés séparément pour déterminer l'économie d'échelle pouvant être réalisée par chaque type d'installation si l'inventaire de conception de l'installation devait changer par rapport au scénario de référence.

2.2 Informations et hypothèses utilisées pour l'estimation

2.2.1 Taille de l'installation de référence

Les volumes de déchets visés par la SIDR englobent les DFMA canadiens existants et futurs pour lesquels il n'existe pas actuellement de plan de gestion à long terme, soit au total approximativement 294 000 m³ de DFA et 51 000 m³ de DMA [1]. L'étude technique a démontré que les options de l'intendance perpétuelle (IP), du monticule ouvragé de confinement (MOC), des enceintes de béton (EB) et de la caverne rocheuse peu profonde (CRPP) ne conviendraient pas à la gestion à long terme des DMA. Nous présumons donc que la taille des installations de référence pour l'IP, le MOC, les EB et la CRPP devra permettre de gérer l'inventaire des DFA, et que la taille des installations de référence pour un dépôt géologique en profondeur (DGP) et des forages profonds (FP) devra permettre de gérer l'inventaire des DMA. La taille de chacune des installations de référence utilisée pour estimer les coûts dans ce rapport est indiquée dans le tableau 2-1.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

Tableau 2-1 : Contenu présumé des déchets et taille des installations de référence pour chaque option de gestion à long terme

Type d'installation	Contenu présumé de déchets	Taille de référence de l'installation
Intendance perpétuelle	DFA, en vrac DFA, autres	294 000 m ³
Monticule ouvragé de confinement		
Enceintes de béton		
Caverne rocheuse peu profonde		
Dépôt géologique en profondeur	DMA, généraux DMA, petits	51 000 m ³
Forages profonds	DMA, petits (stockables dans cette installation)	7 600 m ³

Le contenu de déchets présumé pour chaque option de gestion se décline comme suit :

- DFA, en vrac – comprennent les sols, le béton et les matériaux de construction contaminés.
- DFA, autres – comprennent des déchets contenus dans des conteneurs ou des fûts, des composants métalliques et des objets de grande taille.
- DMA, généraux – comprennent des déchets emballés/en fûts, des composants métalliques volumineux et des objets de grande taille trop grands pour être placés dans des forages profonds.
- DMA, petits – comprennent de petits objets malléables, tels que les résines IX usées, et des liquides solidifiés, qui sont susceptibles d'être stockés dans des forages profonds. Les DMA existants de cette catégorie devront probablement être reconditionnés pour être stockés dans des forages profonds.

2.2.2 Hypothèses concernant l'inventaire des déchets

Il est présumé que tous les déchets liquides auront été solidifiés par incinération, vitrification, enrobage dans un coulis, utilisation d'un agent de solidification, etc., selon le cas. Ce coût supplémentaire de traitement n'a pas été inclus dans cette estimation des coûts.

À moins qu'elles aient été quantifiées par le propriétaire des déchets, les pratiques supplémentaires de décontamination et de réduction du volume n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

2.2.3 **Hypothèses concernant le projet**

Il est présumé pour cette étude que de nouvelles installations de gestion des déchets seront construites. Pour tous les types d'installations, à l'exception des forages profonds, l'estimation des coûts suppose que l'aménagement du site se fera sur un site non aménagé, situé dans un endroit général non spécifié offrant un bon accès aux infrastructures et au personnel de métier, et à distance raisonnable des zones urbaines. Étant donné que les forages profonds sont censés être réalisés sur des sites de gestion de déchets existants dotés d'une infrastructure, de services publics et d'équipements de soutien, les coûts d'aménagement d'un site ne sont pas pris en compte dans les estimations relatives à l'option des forages profonds.

Les économies de coûts permises par le regroupement de plusieurs types d'installations n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Cependant, le regroupement de plusieurs types de déchets et/ou d'installations pourrait permettre de combiner des installations communes (bureaux, administration, services publics, sécurité, etc.) et ainsi de réduire les coûts fixes d'infrastructure. En outre, un tel regroupement pourrait permettre de réduire les coûts liés à la sélection d'un site, à l'obtention des permis et à la surveillance à long terme.

Les coûts de transport des déchets radioactifs n'ont pas été pris en compte puisque l'emplacement de l'installation (ou des installations) pour la SIDR n'a pas encore été choisi. Par conséquent, les coûts associés au transport ne peuvent être estimés pour le moment. Les considérations relatives aux coûts de transport sont plutôt abordées de manière qualitative dans la section « Discussion » du présent rapport.

Les coûts associés au traitement et/ou au conditionnement des déchets radioactifs ne sont pas pris en compte dans cette estimation. Cependant, un centre de reconditionnement pour le stockage en forages profonds est considéré comme faisant partie de cette estimation, puisque le reconditionnement est nécessaire pour que l'option des forages profonds soit réalisable pour l'inventaire actuel des déchets visés par la SIDR [1]. Il convient de noter que certains propriétaires de déchets procèdent actuellement au traitement et/ou au conditionnement des déchets, mais que ces coûts dépassent la portée de cette étude pour la SIDR.

La phase d'exploitation couvre la période pendant laquelle les déchets sont reçus et placés dans l'installation. On suppose que cette période sera d'environ 50 ans, compte tenu des calendriers actuels de réfection et de déclassement du parc nucléaire CANDU actuel au Canada. La durée de 50 ans de cette phase pourrait devoir être revue si d'autres installations nucléaires sont construites au Canada. Pour l'option des forages profonds, la période d'exploitation dépendra du nombre de forages réalisés sur le ou les sites. Par

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

exemple, la période d'exploitation d'une installation comprenant 100 forages sera d'environ 25 ans. Le coût pourrait diminuer si la période d'exploitation était raccourcie, mais en général, les coûts d'exploitation devraient se situer dans la plage de précision fournie.

2.2.4 Hypothèses financières

Cette estimation des coûts ne tient compte d'aucun coût lié au prix des emprunts, aux taux d'intérêt ou aux autres dépenses liées à la gestion financière du programme.

Nous n'avons pas jugé raisonnable dans le cadre de cette étude d'estimer les hausses de prix à long terme dues à l'inflation et à l'évolution du marché des produits de base et de la main-d'œuvre qui pourraient survenir au cours des centaines d'années à venir. Cette hypothèse aboutit à un degré d'incertitude concernant l'estimation des coûts de l'intendance perpétuelle, dont un pourcentage important sera réparti sur la durée de vie complète de l'installation (c.-à-d. plusieurs centaines d'années). Pour d'autres options de gestion à long terme, la majeure partie des coûts de l'installation seront concentrés sur plusieurs décennies, soit pendant les phases de conception, de construction et d'exploitation, ce qui réduit (mais n'élimine pas) cette incertitude.

2.2.5 Précision d'estimation

L'estimation des coûts a été préparée conformément aux lignes directrices et aux pratiques recommandées par l'AACE pour une estimation des coûts de catégorie 5. Un ordre de grandeur des coûts est fourni pour chaque option, à l'intérieur d'une plage de précision de -20 % à -50 % (faible) et d'une place de +30 % à +100 % (élevée).

2.2.6 Devise

L'estimation des coûts est présentée en dollars canadiens de 2021. Aucune indexation des prix et des flux de trésorerie futurs n'a été appliquée.

2.3 Facteurs de coûts communs

Les coûts estimés pour chaque option de gestion des déchets comprennent les coûts associés au cycle de vie du projet et ceux associés aux infrastructures et aux services du site pour chaque installation.

2.3.1 Coûts du cycle de vie du projet

Le cycle de vie de chaque option de gestion à long terme a été divisé en plusieurs phases distinctes :

- Sélection du ou des sites
- Approbations réglementaires

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

- Conception et construction
- Exploitation de l’installation
- Déclassement et fermeture
- Surveillance à long terme

Le tableau 2-2 présente une ventilation des coûts fixes et variables par phase de développement. Seuls les coûts associés directement à la taille de l’installation de gestion à long terme et à la taille du terrain sont considérés comme variables. Tous les autres coûts sont considérés comme fixes. Les coûts d’exploitation peuvent sembler variables (c’est-à-dire qu’ils dépendent de la taille de l’installation et du flux de production). Cependant, le lien de dépendance entre la taille de l’installation et les coûts d’exploitation s’est avéré minime en raison des faibles niveaux minimaux de personnel requis et des longues durées d’exploitation. Le principal facteur influençant les coûts de la phase d’exploitation est la durée de la phase d’exploitation, qui est considérée comme fixe pour cette étude.

Tableau 2-2 : Coûts fixes et coûts variables par phase du projet

Phase du cycle de vie du projet	Types de coûts	
	Fixes	Variables
Sélection du ou des sites	✓	
Approbations réglementaires	✓	
Conception et construction : – Aménagement du ou des sites – Raccordements aux services publics sur site/hors site – Infrastructure/services communs – Construction des installations	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Coûts d’exploitation	✓	
Déclassement et fermeture	✓	
Surveillance	✓	

Les coûts liés à chaque phase pour chaque option de gestion ont été estimés séparément. Les activités qui entraîneront des coûts importants au cours de chaque phase sont décrites dans les sous-sections suivantes.

2.3.1.1 Sélection du ou des sites

La sélection d’un site comprend le travail associé à l’établissement d’un processus de sélection, la présélection des collectivités potentielles, l’évaluation détaillée des collectivités présélectionnées et la négociation d’accords d’hébergement menant à la

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

sélection finale. Aux fins de la présente étude, il est présumé que le processus serait ouvert à toute collectivité consentante et qu'un ou plusieurs sites seraient sélectionnés pour procéder à des évaluations détaillées.

Une concertation publique pour la SIDR est déjà en cours pour s'assurer que la stratégie correspondra aux attentes des Canadiens et des peuples autochtones. De plus amples informations sur les activités de concertation en cours sont disponibles sur le site Web de la SIDR³. En plus de l'acceptation générale de la SIDR par le public, il est prévu que chaque installation de gestion à long terme envisagée devra être appuyée par la collectivité, ce qui exigera un processus de sensibilisation du public, d'établissement de relations avec les peuples autochtones, de concertation et d'éducation.

Il est prévu que les activités de concertation avec les collectivités représenteront un coût fixe important pour tous les types d'installations de gestion des déchets à long terme. Les autres coûts importants de cette phase sont attribuables aux études de développement des installations, aux efforts d'optimisation de la conception, à la mise au point de la conception, ainsi qu'aux interactions initiales avec les autorités de réglementation.

Il est prévu que le coût de la sélection du ou des sites devrait être semblable pour toutes les options de gestion à long terme proches de la surface, à l'exception de l'option de la caverne rocheuse peu profonde. Les études géologiques nécessaires pour trouver un environnement rocheux approprié pour la caverne rocheuse peu profonde et le DGP devraient engendrer des coûts supplémentaires. L'option des forages profonds devrait être moins coûteuse puisque l'installation est censée être construite sur un site nucléaire aménagé.

2.3.1.2 Approbations réglementaires

Les coûts associés aux approbations réglementaires requises comprennent toutes les activités nécessaires à la préparation des demandes et à l'obtention des permis de préparation de site et de construction. Cette phase couvre toutes les activités de soutien requises pour la préparation de la demande de permis de construire, comme les études géoscientifiques et hydrogéologiques du site et les évaluations de la sûreté et de l'impact environnemental du projet. Les études techniques, les calculs et les modèles requis pour le rapport préliminaire d'analyse de sûreté et le rapport d'évaluation de l'impact environnemental sont pris en compte.

Les coûts liés à l'obtention des approbations réglementaires devraient être semblables pour toutes les options de gestion à long terme.

³ <https://plandechetsradioactifs.ca/engagement-initiatives/public-engagement-integrated-strategy-radioactivewaste-isrw>

2.3.1.3 Conception et construction

Les coûts associés à cette phase comprennent tous les coûts directs et indirects liés à la conception et à la construction de chaque option d'installation. L'élaboration de la conception de l'installation comprend les études du site et la mise au point de l'ensemble de la conception détaillée de l'installation.

Les coûts de construction comprennent tous les coûts directs engendrés par l'aménagement de l'infrastructure hors site (routes d'accès, raccordements aux services publics et communications), de l'infrastructure sur site (routes, services publics, services, alimentation électrique normale et de secours, systèmes mécaniques, électriques, de contrôle et de surveillance et réseaux de distribution) et des installations de surface (défrichage et terrassement du site, construction de tous les bâtiments de surface, installation d'une clôture de sécurité autour du site), ainsi que par la construction de l'installation de gestion à long terme des déchets à proprement parler.

Tous les coûts indirects de construction sont également inclus et comprennent les coûts d'approvisionnement, de gestion de la construction, les coûts indirects de construction (remorques temporaires, installations des entrepreneurs), les premiers remplissages, le fret des matériaux et des équipements, les coûts de mise en service et les coûts de gestion du projet. Les coûts de construction, d'équipement et de matériel sont fondés sur les bases de données de coûts internes de Hatch, qui ont été développées en utilisant les coûts historiques réels de projets semblables et les estimations reçues de fournisseurs.

Chaque option de gestion à long terme implique le développement d'une ou de plusieurs installations particulières pour gérer les déchets. Par conséquent, le coût de conception et de construction de chaque installation de gestion varie considérablement d'une option de gestion à l'autre. Les facteurs de coût qui distinguent le plus entre elles les différentes options de gestion sont examinés plus en détail à la section 2.4.

2.3.1.4 Exploitation

Les coûts d'exploitation de l'installation couvrent l'ensemble du personnel, du matériel, de l'équipement et des autres services nécessaires au fonctionnement de l'installation pendant la phase d'exploitation. Les coûts liés aux équipements mobiles et aux services publics sont inclus dans les coûts d'exploitation. Les coûts d'exploitation couvrent également toutes les activités nécessaires à la préparation de la demande de permis d'exploitation ainsi qu'à l'obtention et au renouvellement périodique du permis.

Le coût d'exploitation de toutes les installations est semblable, à l'exception de variations mineures dues au nombre de personnes et aux types d'équipements nécessaires pour soutenir les opérations de mise en place des déchets. Le principal facteur qui influe sur les

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

coûts d’exploitation est la durée de la phase d’exploitation, du fait de l’addition chaque année du coût annuel de la main-d’œuvre et de la maintenance. Par conséquent, la période d’exploitation de 25 ans d’une installation à forages profonds sera moins coûteuse que la période d’exploitation de 50 ans des autres options de gestion.

2.3.1.5 Déclassement et fermeture

La phase de déclassement et de fermeture comprend les activités requises pour assurer la fermeture et le scellement définitifs du dépôt, le retrait des installations de surface et de l’infrastructure du site, et la réhabilitation du site. Cette phase comprend également la préparation du plan de déclassement et de scellement, la préparation du rapport final d’évaluation de la sûreté à l’appui du permis de déclassement et la préparation de la demande de permis de déclassement présentée à la CCSN. Tous les efforts déployés pour préparer la demande de permis et assurer la liaison avec les autorités de réglementation, ainsi que les frais de la CCSN, ont été pris en compte dans le calcul des coûts.

Le déclassement et la fermeture ont lieu à des moments différents selon l’option choisie, comme le montre le tableau 2-3.

Tableau 2-3 : Calendrier prévu de la phase de déclassement et de fermeture

Option de gestion à long terme	Calendrier prévu de la phase de déclassement/fermeture	Description
Enceintes de béton	Après la phase d’exploitation, avant la phase de surveillance.	Sceller le dépôt et retirer toutes les installations du site, à l’exception de celles nécessaires à la surveillance.
Caverne rocheuse peu profonde		
Monticule ouvragé de confinement		
Dépôt géologique en profondeur	Après la phase de surveillance.	Sceller le dépôt et retirer toutes les installations du site.
Forages profonds		Sceller les puits et retirer toutes les installations du site.
Intendance perpétuelle		Enlever les déchets destinés à être éliminés de manière classique et retirer toutes les installations du site.

Pour les options des enceintes de béton, de la caverne rocheuse peu profonde et du monticule ouvragé de confinement, l’installation est surveillée après la fermeture et le scellement du dépôt. Par conséquent, une partie des bâtiments et des éléments d’infrastructure resteront sur le site après la phase de déclassement et de fermeture pour soutenir les efforts de surveillance. Ces bâtiments et éléments d’infrastructure comprennent la clôture de sécurité, la ou les stations de surveillance radiologique et

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

environnementale ainsi que le système de drainage passif du site. Ces bâtiments et éléments d'infrastructure restants seraient déclassés à la fin de la phase de surveillance. Bien que la méthode de scellement des dépôts varie, les coûts de déclasser et de fermeture de ces installations se ressemblent.

Pour les options du DGP et des forages profonds, une phase de surveillance aurait lieu avant le déclasser et la fermeture. La fermeture du dépôt serait retardée pour permettre l'accès au dépôt souterrain pendant la période de surveillance; ce point est abordé à la section suivante. Après la période de surveillance, le dépôt serait fermé et scellé, tous les bâtiments et éléments d'infrastructure de surface seraient retirés, et le site serait réhabilité en terrain vierge. Le coût du scellement du DGP est élevé parce que les puits sont scellés du bas vers le haut. Le coût du scellement des forages profonds est relativement faible en raison du volume relativement faible de remblai (p. ex., du béton) requis pour sceller chaque trou de forage de bas en haut.

Dans le cas de l'option de l'intendance perpétuelle, le déclasser et la fermeture du site n'interviendraient pas avant que les déchets radioactifs se soient désintégrés jusqu'à un niveau qui n'est plus considéré comme radioactif (c'est-à-dire pas plus élevé que les niveaux de rayonnements naturels). Cette période de décroissance correspondrait à la phase de surveillance abordée dans la section suivante. Une fois la période de décroissance terminée, il est présumé que les déchets pourraient être stockés dans une décharge ordinaire. Il convient de noter que les DFA peuvent contenir des traces d'éléments radioactifs qui resteront dangereux pendant plusieurs centaines d'années. Aux fins de la présente étude, il est présumé que ces radionucléides seraient présents à des niveaux permettant la libération du site des contraintes réglementaires de la CCSN ou leur élimination d'une décharge ordinaire, mais cela dépendra de la caractérisation future des déchets et des critères d'acceptation des installations. Les coûts de déclasser et de fermeture comprennent le retrait de tous les bâtiments et éléments d'infrastructure du site et la remise en friche du site. Le coût du déclasser et de la fermeture devrait être sensiblement plus élevé que celui des autres options de gestion à cause du coût du transport des déchets et de leur élimination dans des décharges.

2.3.1.6 Surveillance

Toutes les options d'installations de gestion à long terme comprennent une période de surveillance prolongée. La portée et la durée de la surveillance varient en fonction du type d'installation de gestion à long terme, comme le montre le tableau 2-4. Par conséquent, le coût de la surveillance varie considérablement selon l'option de gestion considérée.

Tableau 2-4 : Calendrier prévu de la phase de déclassement/fermeture

Option de gestion à long terme	Moment prévu	Durée de la surveillance	Description
Enceintes de béton	Après la phase de déclassement et de fermeture.	300 ans	Programme de gestion passive de l'eau.
Caverne rocheuse peu profonde			
Monticule ouvragé de confinement			
Dépôt géologique en profondeur	Après la phase d'exploitation, avant la phase de surveillance.	70 ans	Surveillance active des environnements de surface et souterrains. Programme de gestion active des eaux.
Forages profonds		70 ans	
Intendance perpétuelle			Selon ce qu'exigent les déchets.

Pour les installations proches de la surface, la période de surveillance est présumée se dérouler pendant toute la durée pendant laquelle les déchets resteront dangereux (environ 300 ans). Cette période de surveillance comprend une surveillance radiologique et environnementale périodique, des inspections du site ainsi que des travaux d'aménagement paysager pour maintenir l'étanchéité du dépôt et faire en sorte que les systèmes de drainage passifs demeurent exempts d'une quantité excessive de végétation et d'arbustes. Pour des options autres que l'intendance perpétuelle, le coût de la phase de surveillance devrait être minime par rapport à l'ensemble du cycle de vie du projet. Pour l'option de l'intendance perpétuelle, la période de surveillance comprend également l'obligation d'assurer en permanence la sécurité du site (à l'aide d'une clôture de sécurité et d'une équipe d'intervention hors site), les coûts d'entretien de l'installation et une équipe minimale de surveillance pour l'entretien de l'installation. La période de

surveillance devrait être la phase la plus coûteuse du cycle de vie de l'option de l'intendance perpétuelle.

Les options du dépôt géologique en profondeur et des forages profonds comprennent une période de surveillance prolongée qui se déroulerait entre la fin de l'exploitation de l'installation et le début de son déclassement et de sa fermeture. Au cours de cette période, l'accès au dépôt souterrain demeurerait possible pour surveiller et, le cas échéant, récupérer les déchets stockés. Cette période de surveillance est présumée, de manière prudent, être de 70 ans. Étant donné la durée réduite de la période de surveillance par rapport aux installations proches de la surface, les périodes de surveillance des options de DGP et de forages profonds devraient être moins coûteuses que pour les autres options de gestion.

Pour toutes les options, le coût associé à la surveillance comprend également la préparation de rapports périodiques pour la CCSN (p. ex., tous les 10 ans) jusqu'à la libération des contraintes réglementaires. Il pourrait y avoir un programme continu de surveillance de l'état des eaux souterraines après la fermeture définitive et la levée du permis, mais les coûts associés seraient négligeables par rapport aux phases antérieures du projet.

2.3.2 Coûts des infrastructures et des services communs

Toutes les options de gestion à long terme nécessitent des infrastructures et des services de soutien, qui représentent des éléments de coût importants. Il est présumé que toutes les installations de gestion des déchets à long terme, à l'exception de l'option des forages profonds, seraient construites dans un environnement vierge (c'est-à-dire non aménagé auparavant) et qu'elles nécessiteraient donc un ensemble nouveau d'infrastructures, de raccordements aux services publics et de bâtiments de soutien.

Ces options présentent des différences techniques et opérationnelles. Par exemple, un MOC n'a pas besoin d'une usine de préparation du béton, puisqu'il ne nécessite pas une quantité importante de béton pour sa construction ou son exploitation. Cependant, une usine de préparation du béton sur place serait recommandée pour l'option des EB. Le tableau 2-5 présente une matrice des infrastructures de soutien qui ont été prises en compte dans l'estimation des coûts de chaque option de gestion à long terme.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

Tableau 2-5 : Matrice des infrastructures et des services communs

	MOC	Enceintes de béton	Caverne rocheuse peu profonde	DGP	Forages profonds	Intendance perpétuelle
Nouvelle liaison routière ou ferroviaire	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Raccordements aux services publics (électricité, eau, égouts, etc.)	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Entreposage sur place de l'essence et du GPL	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Clôture de sécurité	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zone tampon de protection incendie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Poste de garde/édifice à bureaux	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Station d'inspection/lavage des camions	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bâtiment de réception/transfert des matières	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Bâtiment d'entretien avec entrepôt	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bassin de ruissellement	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Groupe électrogène de secours	✗	✓	✓	✓	✓	✗
Station de surveillance environnementale	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Système de collecte des lixiviats			✗	✗	✗	✓
Usine de préparation du béton	✗	✓	✓	✓	✓	✗
Station de compression d'air	✗	✗	✓	✓	✗	✗
Centrale de reconditionnement	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Usine de traitement des eaux	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Les différences notables entre les installations communes aux diverses options de gestion sont énumérées ci-dessous :

- L'installation à forages profonds est présumée être construite sur un site aménagé, de sorte que les raccordements aux services publics existants et le stockage de gaz sur place seraient déjà disponibles. En outre, un centre de reconditionnement est nécessaire pour cette installation, car les déchets devront être reconditionnés dans des conteneurs d'une taille convenant au stockage en forages. Le centre de reconditionnement serait relié au bâtiment de réception/transfert des matières. Le reconditionnement pourrait être nécessaire pour d'autres options de gestion à long terme, mais cela n'est pas couvert par l'estimation des coûts.
- L'intendance perpétuelle ne nécessite pas de bâtiment de réception/transfert des matières, car les déchets seraient placés directement dans l'installation.
- Les options de gestion qui prévoient le stockage des déchets dans une formation rocheuse (caverne rocheuse peu profonde, DGP et forages profonds) ne nécessitent pas de système de collecte des lixiviats, car il n'y aurait pas de lixiviats.
- Une station de compression d'air serait nécessaire pour les installations offrant un accès souterrain au personnel pour fournir de l'air de service et de l'air respirable.

2.4 Facteurs de coûts propres à chaque installation

Chacune des six options de gestion des déchets à long terme présente des caractéristiques physiques, opérationnelles et réglementaires uniques qui doivent être prises en compte dans l'estimation des coûts. Ces facteurs de coûts propres à chaque installation sont examinés ci-après. Une description technique plus détaillée des différentes installations de gestion des déchets est fournie à l'annexe A.

2.4.1 Enceintes de béton

Conception et construction – Les matériaux et la main-d'œuvre nécessaires à la construction des enceintes de béton constituent le coût le plus important de cette option. Il est à noter que les enceintes de béton sont présumées être coulées sur place, ce qui entraîne un coût de main-d'œuvre élevé. L'utilisation d'une construction en béton préfabriquée et l'optimisation de la taille des enceintes de béton pourraient permettre de réaliser des économies supplémentaires, sous réserve d'une étude plus approfondie.

2.4.2 Caverne rocheuse peu profonde

Sélection du site – L'estimation des coûts a été préparée pour un site indéterminé, mais nous avons estimé que le coût de la sélection du site serait plus élevé que pour les autres dépôts à faible profondeur (enceintes de béton et monticule ouvragé de confinement). Ce coût plus élevé est attribuable à la difficulté de trouver une formation rocheuse proche de

la surface appropriée. Conception et construction – Le poste de coût le plus élevé de l’option de la caverne rocheuse peu profonde devrait être celui de la main-d’œuvre, des matériaux et de l’équipement nécessaires aux travaux d’excavation et à l’aménagement de l’installation, en particulier, pour l’excavation des enceintes souterraines qui contiendront les déchets stockés.

2.4.3 Monticule ouvrages de confinement

Conception et construction – La conception et la construction du MOC sont similaires à celles de l’installation à enceintes de béton, à l’exception du fait que le MOC comporte des tranchées construites avec des matériaux étanches plutôt que des enceintes de béton. Cela réduit le coût de construction par rapport à un dépôt à enceintes de béton, mais augmente tout de même de façon substantielle le coût de l’ensemble du projet.

2.4.4 Dépôt géologique en profondeur

Construction et remblayage des salles de stockage – L’aménagement latéral (excavation), la construction et le remblayage des salles de stockage du DGP devraient représenter les postes de coûts les plus importants d’un DGP. La plupart de ces coûts sont liés à la main-d’œuvre et aux matériaux nécessaires au remblayage des salles de stockage une fois les opérations de mise en place terminées.

Construction des puits – Un autre coût important associé au DGP est la construction des puits du DGP, y compris du chevalement et des systèmes de levage. La majeure partie de ce coût est attribuable à la main-d’œuvre, aux matériaux et à l’équipement associés au fonçage des puits.

2.4.5 Forages profonds

Conception et construction – On prévoit que les coûts de conception et de construction d’une installation à forages profonds représenteront la majorité du coût d’une grande installation comportant de nombreux puits. Ce coût élevé est attribuable au nombre de puits qui devront être forés pour stocker les grandes quantités de déchets à gérer (pour un exemple, voir le tableau A-1). Il est à noter que tout changement dans le volume du dépôt modifiera considérablement le coût de la conception et de la construction d’une telle installation.

Reconditionnement – La conception et la construction d’un centre de reconditionnement représenteront des coûts importants pour l’option des forages profonds. Le coût élevé de ce centre est attribuable à la conception des systèmes de traitement automatisés/télécommandés spécialisés nécessaires au reconditionnement des DMA.

2.4.6 Intendance perpétuelle

Conception et construction du ou des bâtiments de stockage à long terme – La construction du ou des bâtiments de stockage à long terme des déchets radioactifs devrait être le facteur le plus important dans le coût global de conception et de construction de l'installation, mais les coûts sont beaucoup plus faibles comparativement aux coûts de surveillance et de maintenance de l'installation.

Surveillance de l'installation – La phase de surveillance de l'installation est l'élément de coût le plus important de l'option de l'intendance perpétuelle et elle est beaucoup plus coûteuse que dans le cas des autres options de gestion à long terme. Le coût élevé associé à l'option de l'intendance perpétuelle est principalement attribuable aux coûts permanents de surveillance, d'administration, de sécurité et d'entretien. La maintenance englobe la main-d'œuvre et les matériaux nécessaires à l'entretien des bâtiments et aux inspections et réparations des conteneurs de déchets.

Élimination classique des déchets – Le déclasserment de l'installation pourra commencer lorsque les déchets se seront désintégrés au point de ne plus présenter de risque radiologique (c'est-à-dire dans plusieurs centaines d'années pour les DFA). Le coût de la gestion des déchets pendant la phase de déclasserment prend en compte le transport et le stockage des déchets dans une décharge ordinaire.

3 Résumé de l'évaluation

3.1 Coût unitaire de chaque option de gestion à long terme

Le sommaire du coût unitaire et la plage de précision de l'évaluation de chaque option de gestion à long terme sont présentés au tableau 3-1 et à la figure 3-1. Ces coûts sont indicatifs et visent uniquement à permettre une comparaison entre chaque option en fonction des hypothèses formulées dans cette étude. Ce coût unitaire ne représente pas le coût total lié à la mise en œuvre globale d'une option de gestion à long terme donnée.

Le coût moyen estimé de l'installation est présenté en combinaison avec les coûts faibles et élevés estimés en fonction de la plage de précision sélectionnée pour chaque installation. La plage de précision est ajustée pour chaque installation en fonction de la base de conception disponible, du niveau d'avancement du concept général et de l'expérience relative à des projets connexes du personnel chargé de l'estimation des coûts.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

- Le MOC, les enceintes de béton et le DGP se sont vus attribuer une plage de précision plus étroite de -30 % à +50 %, vu le niveau de conception auquel Hatch avait accès.
- La plage de précision fixée pour la caverne rocheuse peu profonde se situe entre -30 % et +100 %, étant donné l’incertitude associée à la recherche d’un site présentant une géologie proche de la surface répondant aux exigences de confinement et d’isolement de l’installation.
- Les options de l’intendance perpétuelle et des forages profonds se sont vu attribuer une plus grande plage d’incertitude d’estimation (-50 % à +100 %) vu qu’une partie importante des coûts est répartie sur une période beaucoup plus longue de plusieurs centaines d’années, comparativement à plusieurs décennies pour les autres options.

Tableau 3-1 : Sommaire du coût de chaque option de gestion à long terme

Option de gestion à long terme	Faible	Coût [CAN/m ³]* moyen	Élevé	Plage de précision appliquée
Monticule ouvragé de confinement	1 900	2 700	4 200	-30 % à +50 %
Enceintes de béton	3 500	5 000	7 500	-30 % à +50 %
Caverne rocheuse peu profonde	3 300	4 700	9 500	-30 % à +100 %
Dépôt géologique en profondeur	18 300	26 200	39 300	-30 % à +50 %
Forages profonds	123 000	247 000	493 000	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (300 ans)	3 200	6 300	12 700	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (500 ans)	4 400	8 900	17 800	-50 % à +100 %
Intendance perpétuelle (1 000 ans)	7 600	15 200	30 500	-50 % à +100 %

* Le coût est indiqué en dollars canadiens de 2021 et ne reflète pas une indexation future des prix ni une actualisation de la valeur actuelle nette. L’estimation des coûts exclut les frais de transport et les économies pouvant être réalisées grâce au regroupement de plusieurs installations.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

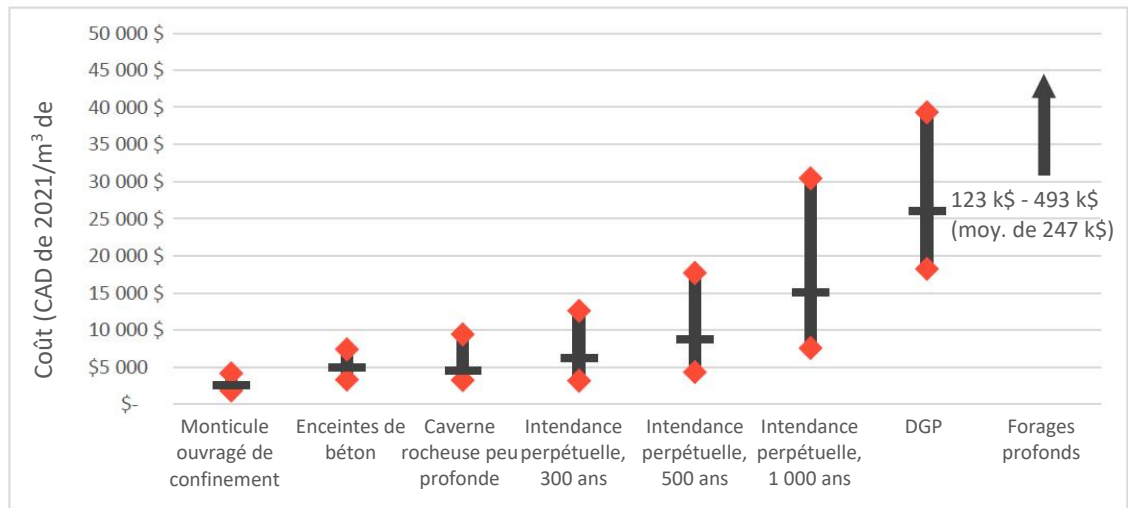


Figure 3-1 : Graphique résumant le coût de chaque option de gestion à long terme, plage de précision comprise⁴

Les résultats des estimations de coûts du tableau 3-1 et de la figure 3-1 montrent que les coûts estimés des quatre options de gestion à long terme proche de la surface sont ceux qui sont les moins élevés (MOC, enceintes de béton, caverne rocheuse peu profonde et intendance perpétuelle pendant 300 ans), et que le coût moyen le plus bas dans l'ensemble est celui du MOC. Il convient de noter que les plages de précision se chevauchent; par conséquent, un examen attentif et des études supplémentaires seront nécessaires pour déterminer quelle option sera la plus économique pour un type de déchets donné. L'intendance perpétuelle appliquée sur de plus longues périodes (au-delà de 300 ans) est considérée comme trop coûteuse par rapport aux autres options de stockage des DFA.

D'après notre évaluation, la gestion à long terme des DMA est beaucoup plus coûteuse que celle des DFA. Ce résultat était prévisible compte tenu du coût supplémentaire de construction associé aux méthodes de stockage en profondeur. De plus, l'option des forages profonds s'est révélée être d'un ordre de grandeur plus coûteuse que celle du DGP. Ce résultat est principalement attribuable au coût élevé du forage des puits et au faible volume de déchets pouvant être contenu dans un seul puits. Les observations et recommandations formulées sur la base des résultats de l'estimation des coûts sont examinées plus en détail à la section 4 du présent rapport.

⁴ Il est à noter que les coûts estimés pour le DGP et l'option des forages profonds sont basés sur un inventaire de déchets de référence plus petit que celui des autres options.

3.2 Ventilation des coûts

La part des coûts associée à chaque phase du cycle de vie de chacune des options est présentée à la figure 3-2. On constate que les coûts engagés lors de la phase de surveillance représentent la majorité des coûts de l'intendance perpétuelle, tandis que ceux associés à la phase de conception et de construction sont les plus importants pour les autres options. Les coûts de la phase d'exploitation représentent également une part importante de toutes les options de stockage à faible profondeur. L'option des forages profonds comporte un coût nettement plus élevé pour la phase de conception et de construction, qui est engendré par la construction des puits.

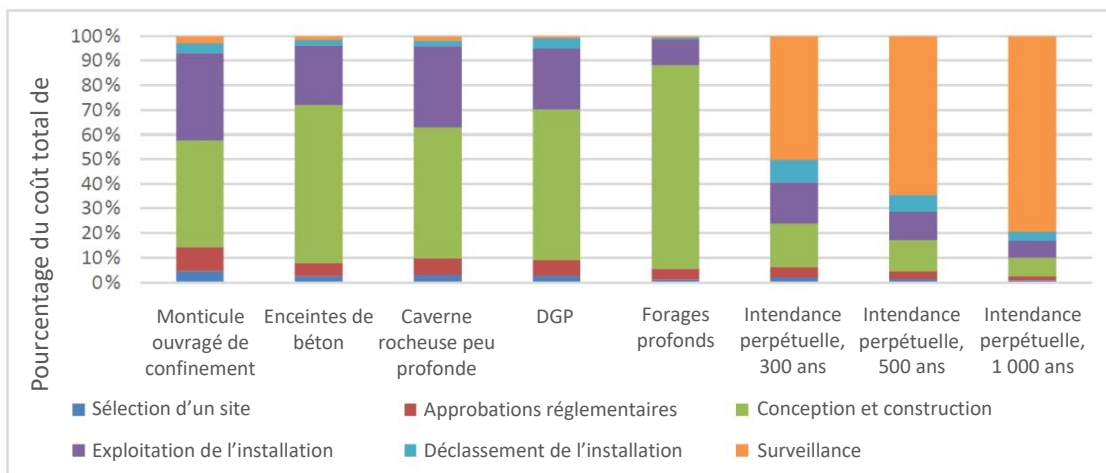


Figure 3-2 : Coût par phase de développement pour chaque option de gestion à long terme

La figure 3-3 présente les postes de coûts fixes et variables pour chaque option de gestion. En général, les coûts variables augmentent proportionnellement au volume des déchets, tandis que les coûts fixes ne changent pas en fonction du volume des déchets. L'installation des forages profonds comporte des coûts variables très élevés par rapport aux coûts fixes parce qu'un volume de déchets plus important nécessite plus de forages, ce qui représente une tâche très coûteuse. Les coûts fixes de l'intendance perpétuelle sont très élevés, car la majeure partie des coûts sur l'ensemble du cycle de vie est attribuable à la surveillance, qui nécessite un minimum de personnel et d'entretien, quel que soit le volume de déchets.

Les coûts variables des enceintes de béton sont plus élevés à cause du coût du béton, qui variera en fonction du nombre d'enceintes nécessaires. Les coûts variables plus élevés du DGP sont attribuables au coût de l'aménagement des salles de stockage souterraines à grande profondeur et du remblayage, qui varieront également en fonction de la quantité de déchets.

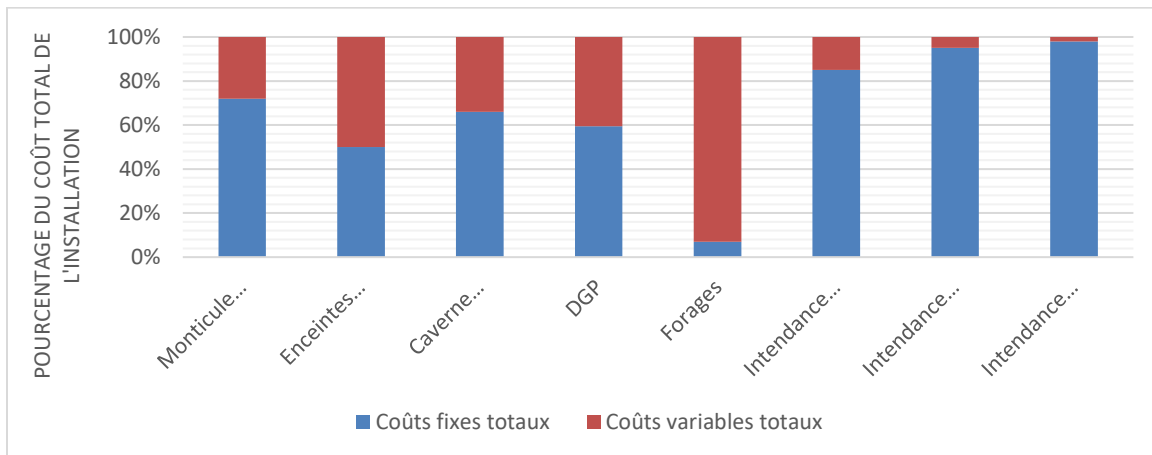


Figure 3-3 : Coûts fixes et variables pour chaque option de gestion à long terme

3.3 Taille de l’installation et économies d’échelle

La taille de l’installation de référence utilisée dans cette étude est basée sur la meilleure estimation actuelle de l’inventaire canadien des DFMA. Tout changement important dans les volumes de DFMA modifiera les coûts estimés dans cette étude. En général, cette relation suit le principe des économies d’échelle, les grandes installations étant censées pouvoir être mises en œuvre à un coût unitaire plus faible. La figure 3-4 présente le changement approximatif du coût unitaire moyen pour chaque option en fonction de la taille de l’installation. On notera également que l’incertitude de l’estimation augmente à mesure que la capacité de l’installation s’écarte du scénario de base.

L’option des forages profonds n’est pas représentée dans la figure 3-4, étant donné l’échelle différente des coûts et des volumes de déchets associés. L’installation en forages profonds permet moins des économies d’échelle si de grands volumes de déchets comme ceux de la figure 3-4 (50 000 m³ à 300 000 m³) y sont stockés. Cependant, comme l’indiquent le rapport technique [1] et la section 2.4.5, une installation à forages profonds est plus susceptible d’être utilisée pour des volumes de déchets variant approximativement de 100 m³ à 10 000 m³. Dans cette fourchette de volumes de déchets, le même principe d’économie d’échelle s’applique à l’option des forages profonds.

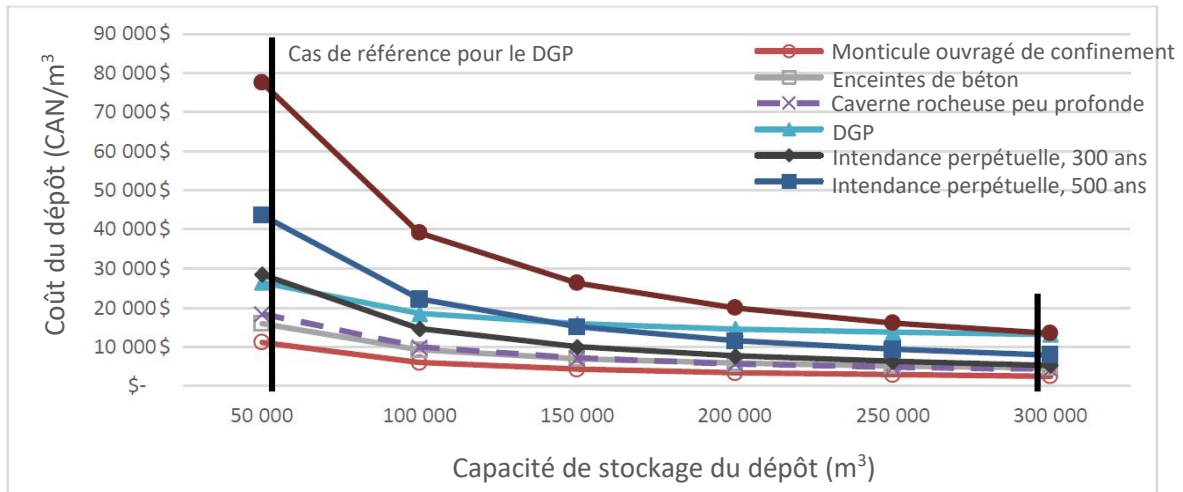


Figure 3-4 : Effet indicatif de la modification de la taille de l'installation sur le coût unitaire. (La plage de précision et l'option des forages profonds ne sont pas représentées pour plus de clarté)

3.4 Influence de la durée de la période d'exploitation sur les coûts

Un autre facteur important de variation du coût est la durée de la phase d'exploitation (période de mise en place des déchets). Pour toutes les options de gestion, à l'exception de celle des forages profonds, la période d'exploitation est présumée être d'environ 50 ans. La majorité des coûts d'exploitation sont attribuables à la main-d'œuvre et à la maintenance des installations qui sont nécessaires pendant cette période de 50 ans. Il serait possible de réaliser des économies en réduisant la durée de la phase d'exploitation et en augmentant le débit annuel de l'installation. Le tableau 3-2 montre l'influence qu'a la durée de la période d'exploitation sur les coûts. Il convient de noter que cette influence n'est présentée qu'à titre indicatif. Cela est dû au fait que l'incertitude de l'estimation augmente à mesure que la durée de la phase d'exploitation de l'installation s'écarte du cas de base sur lequel l'estimation a été élaborée.

Cette évaluation n'est pas pertinente pour l'option des forages profonds puisque la période d'exploitation dépend du nombre puits forés.

Tableau 3-2 : Influence de la durée de la phase d’exploitation sur les coûts.

Durée de la période d’exploitation	Coût moyen ² /m ³						
	MOC	Enceintes de béton	Caverne rocheuse peu profonde	DGP	Intendance perpétuelle		
					300 ans	500 ans	1 000 ans
10 ans	1 900 \$	4 000 \$	3 500 \$	20 900 \$	5 500 \$	8 000 \$	14 400 \$
20 ans	2 100 \$	4 200 \$	3 800 \$	22 100 \$	5 700 \$	8 200 \$	14 600 \$
30 ans	2 300 \$	4 500 \$	4 100 \$	23 300 \$	5 900 \$	8 400 \$	14 800 \$
40 ans	2 500 \$	4 700 \$	4 400 \$	24 500 \$	6 100 \$	8 600 \$	15 000 \$
50 ans ¹	2 700 \$	4 900 \$	4 600 \$	25 700 \$	6 300 \$	8 800 \$	15 200 \$

¹ Cas de base à partir duquel l’estimation a été élaborée

² Plage de précision NON indiquée

3.5 Expérience internationale

L’étude a examiné les projets de stockage des DFA d’autres pays et les coûts de leur cycle de vie sur la base des informations accessibles publiquement. Les installations examinées misaient principalement sur des solutions de stockage près de la surface (par exemple, des enceintes de béton et des cavernes rocheuses peu profondes). La figure 3-5 présente les résultats de cette étude comparative.

Une corrélation inverse a été observée entre le coût unitaire et la capacité de stockage de l’installation (courbe de tendance de la figure 3-5), ce qui confirme l’effet des économies d’échelle abordé précédemment. Les installations de plus faible capacité (Dukovany, Olkiluoto et Loviisa) ont le coût unitaire de stockage le plus élevé, ce qui était prévisible, et le coût unitaire diminue à mesure que la taille de l’installation augmente.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
 Estimation des coûts – 30 nov. 2021

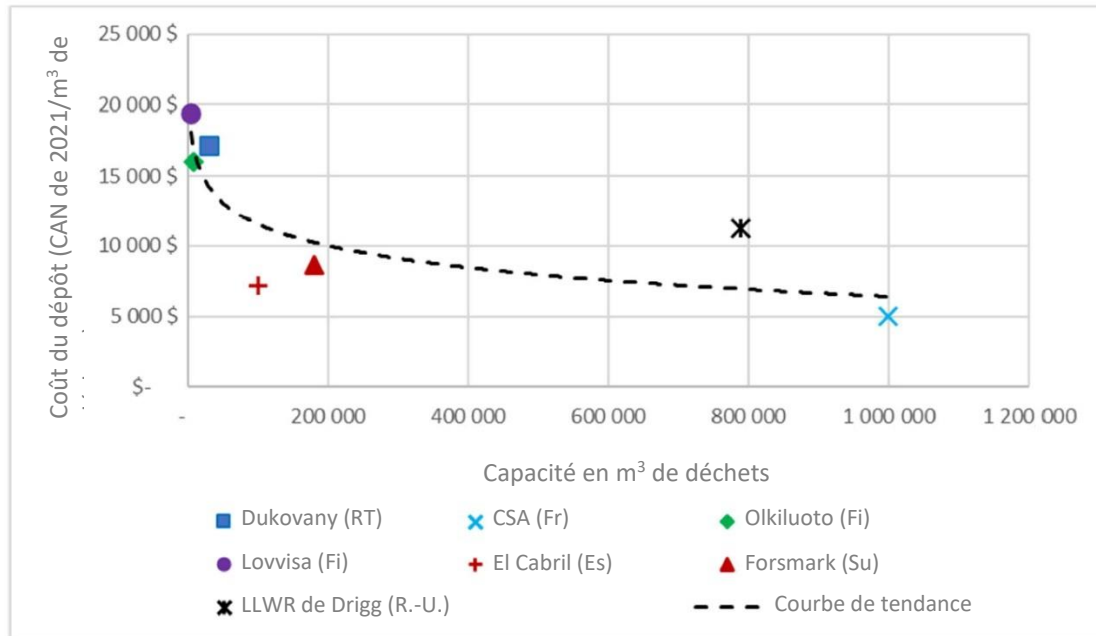


Figure 3-5 : Comparaison entre le coût de plusieurs installations étrangères de stockage proche de la surface

Il faut savoir que les coûts indiqués à la figure 3-5 ont été préparés par des tiers étrangers, chacun dans un but particulier. Ces coûts peuvent ne pas englober tous les mêmes éléments que ceux qui ont été utilisés pour préparer le présent rapport d'estimation des coûts pour la SIDR.

Malgré ces limites, cette expérience internationale fournit un aperçu indicatif utile des coûts de stockage et est conforme aux estimations produites dans le présent rapport.

4 Discussion et recommandations pour une étude plus approfondie

L'objectif de ce rapport était de soutenir l'élaboration de la SIDR en fournissant une estimation indicative et comparative des coûts des six options de gestion des déchets à long terme présentées dans le rapport technique [1]. Les estimations ont été préparées conformément aux lignes directrices internationales de l'AACE pour l'estimation des coûts et sont considérées comme des estimations de haut niveau du coût de projets de catégorie 5. Soulignons aussi que ce rapport a été préparé en vue de fournir une comparaison des coûts des différentes options de stockage sur la base de certaines

hypothèses, et que les estimations présentées ici ne doivent pas être considérées comme le coût absolu de la SIDR. Une étude plus approfondie du nombre, du (des) type(s) et de la (des) configuration(s) des installations ainsi que des coûts de transport sera nécessaire avant de pouvoir estimer le coût de l'ensemble de la stratégie. Le coût potentiel du reconditionnement et/ou du traitement des déchets avant le stockage aura également une incidence sur le coût global.

4.1 Observations générales sur les installations

En général, l'option la moins coûteuse pour la gestion des DFA est celle du monticule ouvragé de confinement, suivie des options de la caverne rocheuse peu profonde, des enceintes de béton et de l'intendance perpétuelle (300 ans). Cependant, les plages de précision des quatre options de gestion à long terme pour les DFA se chevauchent, de sorte que nous recommandons de poursuivre les recherches et de continuer de préciser le projet afin de confirmer la solution la plus économique pour un type de déchets en particulier. Pour la gestion des DMA, le DGP s'est avéré être l'option la plus économique.

4.2 Observations propres à chaque installation

Le coût moyen du stockage en caverne rocheuse peu profonde s'est révélé être inférieur à celui de l'option des enceintes de béton. Cependant, la caverne rocheuse peu profonde dépend davantage de l'adéquation du site, qui doit comporter une formation rocheuse de haute qualité pouvant constituer une barrière naturelle appropriée pour le confinement des déchets radioactifs. L'option des enceintes de béton offre une plus grande possibilité de trouver des sites présentant les conditions appropriées, car elle est moins dépendante de la géologie. Il faudrait continuer d'étudier le coût des deux options, car les technologies d'exploitation minière et de forage de tunnels continuent de s'améliorer considérablement et deviennent progressivement plus économiques. À l'inverse, l'option des enceintes de béton dépend davantage du prix des matières premières, notamment du béton, lequel augmente régulièrement.

Le coût élevé de surveillance de l'option de l'intendance perpétuelle est principalement attribuable aux activités de maintenance et de surveillance qui se poursuivront pendant une période prolongée, alors que les autres options disposent de barrières appropriées pour permettre la transition vers une surveillance passive et une intervention humaine minimale. L'intendance perpétuelle nécessite une maintenance et une surveillance continues pendant toute la durée de vie des déchets radioactifs. En partant de l'hypothèse que l'intendance perpétuelle durera 300 ans, les coûts pour cette période sont comparables à ceux d'autres options de stockage près de la surface (enceintes de béton et caverne rocheuse peu profonde). L'estimation pour une durée plus longue (500 ou

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

1 000 ans) montre que, dans ce cas, cette option aurait un coût prohibitif par rapport aux autres options.

L'application d'une indexation future des prix et d'une actualisation des flux de trésorerie pourrait réduire la valeur actuelle nette de l'intendance perpétuelle. Ceci est dû au fait que la plupart des dépenses auront lieu pendant la période de surveillance, qui est plus tardive que les autres options. Cependant, il existe une incertitude quant à la précision avec laquelle les méthodes actuelles d'estimation des coûts peuvent prévoir les coûts futurs de la main-d'œuvre, des produits de base, etc. sur plusieurs centaines d'années. Pour les DMA, l'intendance perpétuelle nécessiterait une intervention humaine pendant une période pouvant aller jusqu'à cent mille ans, dont le coût est jugé prohibitif. Cette option ne conviendrait donc pas aux DMA. L'intendance perpétuelle n'est pas considérée par d'autres pays comme une solution permanente, car elle imposerait aux générations futures le fardeau d'assurer la sûreté continue de l'installation.

Pour le stockage des DMA, l'option du DGP a été identifiée comme l'option la moins chère, coûtant en moyenne 10 fois moins qu'une installation à forages profonds par unité de volume de déchets. Il est également à noter qu'une installation à forages profonds ne permettra pas de stocker la totalité des DMA visés par la SIDR en raison de ses limites dimensionnelles. Par conséquent, un DGP serait nécessaire pour stocker une partie de l'inventaire visé par la SIDR, que les forages profonds soient utilisés ou non pour le stockage des déchets qui s'y prêtent. Étant donné le faible coût fixe de l'option des forages profonds, celle-ci pourrait convenir aux petits producteurs de déchets (p. ex. pour ceux qui auront produit moins que quelques centaines de mètres cubes de déchets).

Bien que l'option des forages profonds ait été jugée inadaptée à l'inventaire complet des SIDR, il serait possible d'optimiser sa conception pour réduire le coût global par volume unitaire. L'option des forages profonds présente deux facteurs contraignants : le coût des forages et le volume limité de déchets qui peut être placé dans chaque puits. Cette technologie continue d'évoluer et la taille optimale d'un forage et des conteneurs varie selon les sources. Les paramètres pris en compte sont considérés comme moyens à prudents si l'on se base sur la technologie de forage utilisée actuellement dans l'industrie pétrolière. Ainsi, l'estimation des coûts varie considérablement en fonction du diamètre des puits de forage considéré. À titre d'exemple, si le diamètre d'un forage profond est 1,75 fois plus grand, le nombre de forages nécessaires sera trois fois moindre. Cela permettrait donc de diviser par un facteur inférieur à trois le coût par mètre cube de déchets stockés. La taille du trou de forage dépend fortement de la technologie disponible, et le coût pourrait diminuer à mesure que cette technologie progresse.

4.3 Facteurs d'échelle

Nous avons constaté que la plus grande partie (environ 80 %) des coûts d'exploitation des installations pour toutes les options, à l'exception de l'option des forages profonds, est attribuable à la main-d'œuvre et à la maintenance des installations. Par conséquent, réduire la durée totale de la période de mise en place des déchets permettrait de réduire les coûts de manière considérable. De plus, nous avons constaté qu'un niveau minimal de personnel est nécessaire pour maintenir l'installation en état d'exploitation, ce qui fait que le coût d'exploitation varie peu en fonction du débit annuel de l'installation.

Par conséquent, réduire les coûts d'exploitation nécessitera une planification et une programmation innovantes compte tenu du cycle typique de gestion des déchets à l'origine de la longue période d'exploitation, c'est-à-dire qu'il faut stocker l'inventaire actuel, puis stocker à un faible volume et enfin stocker les déchets issus du déclassement. Les concepts à explorer sont les suivants :

- Combiner les opérations de mise en place en centralisant plusieurs options de stockage des déchets sur le même site, ce qui permettrait d'augmenter le débit à des coûts de main-d'œuvre fixes.
- Centraliser les opérations de mise en place des déchets à l'aide d'installations potentielles de traitement/reconditionnement, ce qui permettrait un partage de la main-d'œuvre.
- Placer une installation en mode entretien et maintenance pendant la période de faible volume, c'est-à-dire réduire le volume de placement à zéro tout en maintenant les activités d'entretien et de sécurité.

4.4 Considérations relatives au traitement des déchets

À l'exception de la méthode des forages profonds, cette étude n'a pas pris en compte le coût des activités supplémentaires de traitement des déchets qui pourraient être nécessaires, comme la réduction du volume, au-delà de ceux déjà prévus et quantifiés par chaque propriétaire de déchets. Les méthodes de traitement des déchets varient en fonction des propriétés physiques des déchets, mais peuvent inclure les éléments suivants :

- La réduction mécanique du volume : découpe, segmentation, compactage.
- L'incinération.
- La fusion des métaux.
- La décontamination.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

- La décontamination en vrac (par exemple, l'hydrométallurgie pour le béton contaminé).
- La solidification des liquides (y compris par déshydratation, vitrification, enrobage de coulis, etc.).

Les objets volumineux de forme irrégulière, tels que les générateurs de vapeur et les échangeurs de chaleur, pourraient nécessiter une réduction mécanique du volume ou une segmentation à une taille/un poids plus appropriée pour le stockage.

Sous réserve d'études futures, la Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs pourrait bénéficier d'une approche holistique appliquée en amont du traitement et de la réduction des déchets. Il est important de noter qu'il y a un compromis à faire entre le coût du traitement des déchets et les économies réalisées grâce à la réduction du volume pour le stockage. Si les déchets doivent être reconditionnés ou traités avant d'être stockés, il pourrait y avoir des économies supplémentaires à faire en optimisant les méthodes de réduction du volume des déchets (c'est-à-dire incinération, compactage, fusion des métaux).

4.5 Considérations relatives à l'utilisation d'une approche centralisée ou décentralisée

Une considération clé pour la SIDR est le choix à faire entre une approche centralisée et une approche décentralisée. Le regroupement de plusieurs types de déchets et/ou d'installations pourrait permettre de combiner des installations communes (bureaux, administration, services publics, sécurité, etc.) et ainsi de réduire les coûts fixes d'infrastructure. En outre, un tel regroupement pourrait permettre de réduire les coûts liés à la sélection d'un site, à l'obtention des permis requis et à la surveillance à long terme. L'évaluation d'une centralisation des installations doit tenir compte de la possibilité d'assurer la sûreté du stockage de plusieurs types de déchets à proximité les uns des autres et d'assurer l'isolement des différents types de déchets.

À l'inverse, une approche décentralisée ferait appel à de multiples installations de gestion à long terme réparties à plusieurs endroits au pays. Cette approche réduirait le coût du transport des déchets vers ces installations, mais pourrait entraîner des coûts plus élevés liés à la sélection des sites, à l'obtention des permis et à la surveillance à long terme. Étant donné que les coûts de transport n'ont pas été pris en compte dans cette étude, il est impossible recommander l'adoption d'une approche centralisée ou décentralisée en fonction des coûts. Nous recommandons donc de poursuivre les recherches en tenant compte des coûts de transport et d'autres considérations non financières.

4.6 Considérations liées au transport

Les coûts de transport n'ont pas été pris en compte dans la présente estimation. Comme l'emplacement de l'installation (ou des installations) de la SIDR n'est pas encore défini, les coûts associés au transport des déchets ne peuvent pas être estimés. Néanmoins, une discussion qualitative est incluse pour soutenir les recherches futures.

Les coûts fixes de transport sont ceux liés à la conception, à la certification et à la fabrication des colis de transport ainsi qu'à l'obtention des permis associés. Ces coûts fixes dépendent des types de déchets transportés; par exemple, les DMA qui nécessitent un colis de transport spécialisé augmenteront les coûts.

Les coûts variables du transport sont ceux liés à la main-d'œuvre responsable des expéditions et de l'entretien des colis de transport et des moyens de transport (c'est-à-dire les véhicules). La variabilité des coûts du transport est surtout due à la distance de transport et au volume de déchets transportés.

Le transport des déchets radioactifs doit être conforme au *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires* de la CCSN (DORS/2015-145). À ce titre, la conception des colis de transport pourrait devoir être homologuée par CCSN, selon le niveau de risque posé par les déchets radioactifs transportés. L'homologation de la conception des colis ajoute un coût à la conception des colis de transport. En outre, l'homologation des colis de transport est généralement valable pendant 4 à 5 ans, de sorte que l'utilisation à long terme des modèles de colis de transport impliquera des coûts d'exploitation supplémentaires liés au renouvellement de l'homologation. Toutes les expéditions de déchets radioactifs au Canada doivent également être conformes aux exigences du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* pour les matières de catégorie 7. Ce règlement exige une formation spéciale et des mesures de radioprotection particulières pour les expéditions de substances nucléaires. Ces exigences spéciales augmentent le coût d'exploitation du transport.

En outre, certains déchets radioactifs visés par la SIDR pourraient également nécessiter un permis de transport de la CCSN. L'obtention d'un permis de transport ajouterait un coût supplémentaire par expédition. Des renseignements supplémentaires sur les permis de transport et l'homologation des colis sont disponibles sur le site Web de la CCSN⁵.

Bien que le transport des substances nucléaires soit réglementé au niveau fédéral, les charges surdimensionnées doivent être autorisées au niveau provincial. Par conséquent,

⁵ <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/nuclear-substances/packaging-and-transport-of-nuclear-substances/index.cfm>

les déplacements interprovinciaux devront tenir compte des exigences en matière de permis de chaque province où les déchets sont transportés. Des permis de transport pour les expéditions de dimensions et de poids exceptionnels peuvent être requis selon la nature des déchets. Certaines autorisations de transport exigent la réalisation d'une étude de transport et le recours à des véhicules d'escorte qui augmentent les coûts de transport.

5 Références

- [1] Hatch Ltd., H365930-00000-200-066-0001, Élaboration d'un plan initial – Caractérisation et options : Rapport de projet, Société de gestion des déchets nucléaires, 2021.
- [2] Commission canadienne de sûreté nucléaire, « Déchets radioactifs de faible et de moyenne activité », 4 mai 2021. [En ligne]. Disponible : <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/waste/low-and-intermediate-waste/index.cfm> [Consulté le 30 juin 2021].
- [3] Ontario Power Generation, « NK38-PLAN-00960-10001 Rev. 2, Preliminary Decommissioning Plan - Darlington Nuclear Generating Station », 2016.
- [4] Ontario Power Generation, « P-PLAN-00960-00001 Rev. 2, Preliminary Decommissioning Plan - Pickering Generating Stations A & B », 2016.
- [5] Ontario Power Generation, « 06819-PLAN-00960-00001 Rev. 2, Preliminary Decommissioning Plan - Bruce Nuclear Generating Stations A and B », 2016.
- [6] AACE International, Recommended Practice No. 17R-97 Cost Estimate Classification System, 2011.

Annexe A : Types d’installations

Les sections suivantes fournissent une description technique plus détaillée des différentes options de gestion des déchets à long terme qui ont été prises en compte dans l’élaboration de l’estimation des coûts présentée dans le présent rapport.

A.1 Enceintes de béton

Le concept de dépôt de déchets à enceintes de béton mise sur des enceintes de béton pour fournir une structure indépendante et autoportante. Les conteneurs de déchets mis en place ne sont donc soumis à aucune charge structurelle externe autre que celle découlant de l'empilement typique des conteneurs de déchets. La structure de l'enceinte assure également le confinement des déchets, ajoutant une barrière supplémentaire de défense en profondeur contre le rejet potentiel de contaminants radiologiques dans l'environnement. Les dimensions exactes des enceintes et l'épaisseur du béton feront l'objet d'études d'optimisation futures afin de sélectionner le rapport béton/utilisation de l'espace le plus économique.

Le concept de dépôt de déchets à enceintes de béton serait constitué d'enceintes de confinement indépendantes en béton, construites progressivement autour d'un couloir d'accès central. La conception à couloir d'accès central permettrait une construction progressive au fur et à mesure de la réception des déchets et offrirait la possibilité d'augmenter ou de réduire la taille de l'installation en fonction des besoins des propriétaires des déchets.

Le système de confinement comprendrait également un système de barrières imperméables à l'eau multicouche et de collecte des lixiviats installé sous le dépôt. La barrière imperméable à l'eau préviendrait l'infiltration des eaux souterraines dans l'enceinte de confinement et l'écoulement des lixiviats dans les eaux souterraines. La sélection du site doit tenir compte de considérations géologiques pour limiter l'infiltration des eaux souterraines dans les enceintes. Un système de recouvrement mobile temporaire serait installé au-dessus du dépôt, pendant la construction des enceintes, pour assurer une protection contre les éléments.

Une fois les opérations de mise en place des déchets terminées, le sommet de l'enceinte de béton serait recouvert d'un matériau de remblai ouvragé. Le recouvrement fournirait une pente de drainage recouverte de multiples barrières pour empêcher l'infiltration de l'eau et assurer un drainage adéquat à l'écart du dépôt. Les eaux de surface seraient recueillies dans un bassin de ruissellement pour qu'elles puissent être surveillées et rejetées de manière contrôlée. La couche supérieure serait constituée de terre ordinaire inclinée et stabilisée par de la végétation herbacée afin d'empêcher l'érosion du sol. La maintenance à long terme consisterait à détecter et à surveiller les eaux recueillies dans le système de collecte des lixiviats et les eaux de surface recueillies dans le bassin de ruissellement. Une tonte et un entretien réguliers de l'herbe seraient nécessaires pour empêcher toute croissance d'arbustes et/ou d'arbres au-dessus du dépôt.

A.2 Caverne rocheuse peu profonde

Le concept de caverne rocheuse peu profonde mise sur une formation naturelle proche de la surface (par exemple à 50-100 mètres sous terre) de roche peu perméable pour fournir un confinement supplémentaire aux conteneurs de déchets mis en place.

La conception du dépôt consiste en un réseau de galeries souterraines (enceintes) qui seraient construites à l'aide des méthodes et d'équipements standard de l'industrie minière. La taille des galeries permettrait d'empiler une variété de conteneurs de déchets standard de l'industrie ainsi que des objets de forme irrégulière (par exemple, des segments de générateurs de vapeur). L'accès au dépôt souterrain serait assuré par deux rampes d'accès. Les deux rampes soutiendraient un système de ventilation forcée « à circulation traversante ». Le sol des rampes d'accès et des enceintes du dépôt serait conçu en béton pavé afin de fournir une surface de conduite lisse pour les équipements mobiles de manutention des déchets.

Une fois les opérations de mise en place des déchets terminées, l'accès au dépôt serait scellé par des cloisons scellant chaque rampe d'accès. Les conteneurs de déchets, la géologie naturelle du site et le scellement de toutes les ouvertures assureraient un confinement des déchets conforme au principe de la défense en profondeur et une protection contre la pénétration des eaux souterraines dans le dépôt.

A.3 Monticule ouvragé de confinement

Le concept de monticule ouvragé de confinement mise sur des tranchées revêtues de matériaux naturels et synthétiques pour assurer le confinement des déchets de faible activité. Contrairement aux enceintes de béton, les tranchées souterraines ne constituent pas des structures indépendantes et autoportantes. Les déchets devront donc être autoportants (par exemple, en minimisant les espaces vides, en injectant du coulis et/ou en renforçant les conteneurs de déchets).

Pendant la construction, les couches supérieures du sol naturel seront enlevées et les tranchées seront construites à la profondeur requise pour atteindre des matériaux pouvant assurer une fondation appropriée. Une barrière imperméable multicouche et un système de collecte des lixiviats seront aménagés dans la zone excavée. Le tout serait recouvert d'une couche de matériau granulaire compacté afin de fournir une surface de conduite stable pour l'équipement de mise en place. Un système de recouvrement mobile temporaire pour protéger le dépôt ouvert des éléments pendant la phase d'exploitation a été prévu dans l'estimation des coûts.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

Les opérations de mise en place ressembleraient à celles de l’option des enceintes de béton et les besoins en matière de bâtiments de soutien et d’infrastructure seraient identiques à cette option. Le concept présenté dans cette étude ne prévoit pas d’injection de déchets sur le site, car cette option est principalement destinée aux déchets en vrac ne laissant que très peu d’espaces vides une fois stockés (p. ex., du sol et du béton). Hatch a effectué une analyse de sensibilité préliminaire, et les résultats indiquent que l’injection de coulis, si nécessaire, cadrerait avec la limite supérieure de coûts présentée à la section 3.1.

Une fois les opérations de mise en place terminées, le sommet du dépôt serait recouvert d’un remblai ouvrage, de couches de membranes imperméables à l’eau, de matériaux de drainage et de terre végétale avec de la végétation. Le drainage serait acheminé vers le bassin de ruissellement comme dans le cas de l’option des enceintes de béton. La surveillance et la gestion à long terme sont également identiques à celles de l’option des enceintes de béton.

A.4 Dépôt géologique en profondeur

Le concept de dépôt géologique en profondeur permet de confiner et d’isoler les déchets radioactifs dans un réseau de tunnels excavés en profondeur dans une formation rocheuse stable. De multiples barrières ouvragées, comprenant les conteneurs de déchets, le remblai de béton/de coulis des salles de stockage, la géologie naturelle du site et le scellement de toutes les ouvertures, assureraient un confinement des déchets en profondeur. Le concept de DGP est reconnu internationalement comme la meilleure pratique pour le stockage des DMA.

Le modèle conceptuel de DGP utilisé dans cette estimation des coûts est basé sur des informations accessibles au public produites sur le DGP de DFMA d’Ontario Power Generation (OPG). Le DGP pour combustible irradié de la SGDN est également utilisé à titre de référence, lorsque la situation s’y prête.

À la surface, des installations de soutien seraient présentes pour recevoir les colis de transport contenant les déchets radioactifs. On présume que le DGP serait construit sur un site vierge (c.-à-d. sans infrastructure existante), de sorte que les infrastructures de soutien telles que les routes d’accès, les canalisations d’eau et d’égout, l’électricité, etc. qui ont été abordées dans la section 2.3.1 sont toutes prises en compte dans cette estimation des coûts.

L’accès entre les installations de surface et souterraines se ferait par deux puits. Les deux puits assureraient la circulation de la ventilation dans toute l’installation et pourraient servir de sorties redondantes distinctes en cas d’urgence.

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

Sur le site du dépôt géologique en profondeur, les conteneurs de déchets seraient transférés dans des salles souterraines pour y être stockés de manière permanente. Les salles de stockage consisteraient en un réseau de tunnels creusés à une profondeur de plusieurs centaines de mètres. Le scénario de base évalué pour cette estimation des coûts prévoit un nombre de salles de stockage suffisant pour contenir la totalité de l'inventaire des DMA visés par la SIDR. Une fois les salles de stockage remplies de conteneurs de déchets, les espaces vides autour des conteneurs de déchets seraient remplis de béton ou de coulis pour assurer un niveau supplémentaire de confinement.

Les activités de mise en place des déchets et de remblayage seraient soutenues par une aire de services centrale souterraine située près des puits de l'installation, à la même profondeur que les salles de stockage. L'aire de services souterraine contiendrait l'infrastructure générale de la mine et les capacités de maintenance/entretien de l'équipement.

Une fois les opérations de mise en place des déchets terminées, la période de surveillance commencerait. L'accès à l'installation souterraine serait maintenu pendant la période de surveillance. Une fois la période de surveillance terminée, on présume que les tunnels d'accès et les puits restants seraient entièrement scellés de bas en haut.

A.5 Forages profonds

Le concept des forages profonds consiste à descendre des conteneurs de déchets dans des forages profonds et étroits d'une profondeur d'environ 1 000 mètres. Le confinement et l'isolement des déchets seraient assurés par les conteneurs de déchets, la géologie naturelle du site et le scellement des puits.

Comme il n'existe aucun exemple dans le monde d'utilisation à grande échelle de forages profonds pour le stockage des déchets radioactifs, un concept préliminaire a été élaboré pour servir de base à l'estimation des coûts. Ce concept a été élaboré en s'appuyant sur les hypothèses fondamentales suivantes :

- Sélection du ou des sites : les forages sont présumés être suffisamment profonds pour atteindre le socle rocheux. Par conséquent, le choix du site ou des sites pour l'installation (ou les installations) n'est pas aussi limité par la géologie que pour d'autres options de stockage. Par conséquent, on suppose que l'installation ou les installations seraient situées sur le lieu de production/stockage des déchets. Cette hypothèse signifie que chaque installation serait construite sur un site partiellement aménagé, de sorte que les infrastructures les plus courantes seraient déjà présentes. Cette hypothèse devra être vérifiée pour chaque site si la méthode de stockage en forages profonds est retenue. **Remarque** : comme pour toutes les options de gestion

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

des déchets à long terme, la faisabilité technique n'exclut pas l'examen d'autres aspects pour la sélection du site.

- Forages : l'aspect du forage a été basé sur les avis des experts de Hatch spécialisés dans les forages profonds de l'industrie pétrolière et gazière. Les puits seraient forés à une profondeur verticale d'un kilomètre et comprendraient au fond une section horizontale de 750 pour le stockage des déchets. Le diamètre présumé des conteneurs serait de 0,4 m. Compte tenu des limites technologiques et des recherches en cours aux États-Unis⁶, chaque puits devrait contenir environ 75 m³ de déchets. Ces dimensions sont considérées comme des hypothèses moyennement à légèrement conservatrices. La limite supérieure serait de 1,75 fois le diamètre du conteneur, ce qui permettrait de stocker approximativement trois fois le volume de stockage par simple longueur de forage utilisable. Selon le volume de déchets à stocker, plusieurs forages pourraient devoir être réalisés pour une même installation.
- Reconditionnement des déchets : comme l'indique le rapport technique [1], la plupart des déchets destinés au stockage en forages profonds devront être reconditionnés. Ce reconditionnement est présumé avoir lieu dans une installation spécialisée sur chaque site de forage profond et a été pris en compte dans cette estimation des coûts.
- Mise en place des déchets : il est présumé que les déchets seraient mis en place de manière contrôlée à l'aide d'un dispositif à tubage concentrique ou d'une technologie similaire adaptée de l'industrie pétrolière et gazière. Cet équipement a fait ses preuves dans des applications verticales et horizontales. La mise en place des déchets est présumée avoir lieu uniquement dans la section horizontale de chaque forage, comme l'indique le site Web de la SIDR⁷.
- Installations générales de soutien : On présume que les installations à forages profonds nécessiteront une infrastructure de surface similaire à celle des autres installations de gestion à long terme (p. ex. routes du site, nivellement, bureaux, commodités, sécurité, services publics, etc.). Comme les forages profonds seraient réalisés sur des terrains partiellement aménagés, certaines de ces installations seraient déjà en place.

Comme l'indique le rapport technique [1], le stockage en forages profonds est considéré comme techniquement approprié pour les déchets classés dans la catégorie des « petits DMA », comme les résines échangeuses d'ions usées. Ces déchets de petite dimension représentent environ 18 % de l'inventaire total des DMA visés par la SIDR⁷. En s'appuyant sur les informations préliminaires sur l'inventaire des déchets fournies dans le rapport technique pour les DMA de petite taille, le tableau A-1 montre le nombre approximatif de

⁶ <https://plandechetsradioactifs.ca/content/pour-en-savoir-plus>

⁷ Il est à noter qu'un DGP distinct serait nécessaire pour le stockage du reste des DMA qui ne sont pas classés dans la catégorie des « petits DMA ».

forages qui seraient nécessaires sur chaque site pour stocker tous les DMA de petite dimension si c'était la seule approche choisie pour stocker ces DMA.

Tableau A-1 : Nombre approximatif de forages nécessaires par emplacement pour le stockage de tous les DMA de petite dimension

Propriétaire des déchets et emplacement	Forages nécessaires pour stocker tous les DMA de petite dimension*
OPG, WWWF	101
EACL/LNC, Douglas Point	4
EACL/LNC, Gentilly 1	5
EACL/LNC, Chalk River	8
HQ, Gentilly 2	6
Énergie NB, Point Lepreau	1

* D'après le plan initial et susceptible de changer au fur et à mesure de l'avancement du projet. Voir [1] pour plus d'informations sur l'inventaire des déchets.

A.6 Intendance perpétuelle

Le concept d'intendance perpétuelle mise sur une intervention humaine et des barrières ouvragées pour entreposer les déchets jusqu'à ce qu'ils soient considérés comme sûrs pour la libération ou une élimination ordinaire. Contrairement aux autres options de gestion des déchets à long terme, l'intendance perpétuelle n'implique pas de solution de stockage ni de barrières naturelles. Au lieu de cela, un accès limité aux déchets est maintenu pendant toute la durée de vie de l'installation. Étant donné que l'intendance perpétuelle n'offre qu'un niveau relativement limité de « défense en profondeur » par rapport aux autres options de stockage, une surveillance active, des inspections régulières et une maintenance continues sont nécessaires pendant toute la durée de vie des déchets. Cette surveillance est plus coûteuse que celle exigée par les autres options de stockage, ce qui fait que cette option imposerait un fardeau plus lourd aux générations futures.

Les installations actuellement utilisées pour l'entreposage provisoire des DFA et des DMA misent sur une intervention humaine et des barrières ouvragées similaires. Cependant, on prévoit que les installations existantes auront une capacité et/ou une durée de vie insuffisantes pour pouvoir être transformées en solutions d'intendance perpétuelle. Cette hypothèse est considérée comme raisonnable, car la plupart des solutions d'entreposage provisoire existantes ne sont pas conçues pour durer des centaines d'années, comme l'exigerait l'option de l'intendance perpétuelle. Le modèle conceptuel utilisé pour cette étude prévoit plutôt de nouvelles installations de stockage construites sur un site vierge

Société de gestion des déchets nucléaires – Stratégie intégrée pour les déchets radioactifs
Estimation des coûts – 30 nov. 2021

(c'est-à-dire un terrain non aménagé). L'installation d'intendance perpétuelle nécessiterait donc la construction de bâtiments en surface et un raccordement aux services publics similaires à ceux des autres méthodes de stockage de DFA près de la surface. Toutefois, un bâtiment de réception/manutention des déchets ne serait pas nécessaire puisque les déchets seraient livrés et placés directement dans l'installation de stockage.

L'installation d'entreposage à long terme comprendrait soit un seul grand bâtiment, soit plusieurs petits bâtiments. Le ou les bâtiments pourraient être préfabriqués en métal ou en béton, ou construits en béton coulé sur place. L'hypothèse de la construction métallique préfabriquée a été utilisée dans cette estimation. Nous avons présumé que ces installations ne stockeraient pas de déchets liquides et qu'elles n'auraient pas besoin de mesures de contrôle de la température, c'est-à-dire de moyens de chauffage ou de refroidissement. Le ou les bâtiments desservis par une ventilation passive et les déchets resteraient accessibles pour des inspections et une surveillance régulière pendant toute la période de stockage.

La sélection du site et les approbations réglementaires devraient suivre le même processus que les autres installations de stockage proche de la surface (enceintes de béton et MOC).

La phase d'exploitation est calquée sur les options du MOC, des enceintes de béton et de la caverne rocheuse peu profonde. Une fois les opérations de mise en place des déchets terminées, l'installation entrerait dans une phase de surveillance/suivi à long terme. Au cours de cette phase, un personnel minimal sera nécessaire pour assurer la maintenance, l'inspection des colis de déchets et de l'installation, la sécurité du site et une surveillance environnementale.