

## Étude sur l'état des connaissances, les impacts et les mesures d'atténuation de l'exploration et de l'exploitation des gisements d'uranium sur le territoire québécois : résumé

Résumé préparé à l'intention du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec et du ministère des Ressources naturelles du Québec

Auteurs (dans l'ordre alphabétique) :

Georges Beaudoin, Géo., Ph.D. (géologie et génie géologique), Université Laval

Kristina Maud Bergeron, Ph.D., Chaire en entrepreneuriat minier UQAT-UQAM, UQAM

Michel Jébrak, Géo., D.Sc. (sciences de la Terre et de l'atmosphère), UQAM

Julia King, M.Sc. (géologie et génie géologique), Université Laval

Dominic Larivière, Ph.D. (chimie), Université Laval

Annie Michaud, M.Sc. (chimie), Université Laval

Pierre-Alain Wülser, Ph.D. (sciences de la Terre et de l'atmosphère), UQAM

Date : 31 mars 2014



UNIVERSITÉ  
LAVAL

UQAM

## AVANT-PROPOS

Ce rapport a été préparé à l'intention du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP) et du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) mais il n'engage en rien ces derniers. Il est préparé en vue de la tenue, par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, d'une enquête et d'une audience publique sur les impacts environnementaux, sociaux et économiques liés à l'exploration et l'exploitation de l'uranium. Cette démarche aura pour but d'informer la population concernant les enjeux, de la consulter et d'éclairer le gouvernement dans sa réflexion quant à l'avenir de cette filière et la protection de l'environnement.

Ce rapport est réalisé par le réseau d'innovation DIVEX (Diversification de l'exploration au Québec), sous la responsabilité des professeurs Georges Beaudoin (Université Laval), Dominic Larivière (Université Laval) et Michel Jébrak (UQAM). DIVEX est un réseau d'innovation appuyé par le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT). Le réseau DIVEX comprend des chercheurs et des étudiants issus des sept universités québécoises qui ont des activités de formation et de recherche dans le domaine des ressources minérales.

Toute référence à une loi ou une réglementation n'est présentée qu'à titre informatif. Ces références ne peuvent être utilisées pour prendre des décisions ou poser des actions. Les lecteurs et lectrices sont donc appelés à se référer aux textes de lois originaux pour obtenir des informations ayant force de loi.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos</b> .....	<b>i</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>ii</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>iii</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 L'uranium et la radioactivité</b> .....	<b>1</b>
1.1 L'uranium dans l'environnement.....	1
1.2 La radioactivité.....	2
1.3 Exposition aux radiations.....	3
<b>2 État des connaissances sur les ressources uranifères au Québec</b> .....	<b>5</b>
2.1 Le potentiel géologique du Québec.....	5
2.2 Exploration pour l'uranium au Québec.....	6
2.3 Utilisation de l'uranium dans la filière de l'énergie nucléaire au Québec.....	7
<b>3 Permis et autorisations pour les projets miniers uranifères au Québec</b> .....	<b>8</b>
<b>4 Inventaire des impacts potentiels de la filière uranifère</b> .....	<b>10</b>
4.1 Bioaccumulation de l'uranium dans la chaîne alimentaire.....	10
4.2 Toxicité de l'uranium.....	10
4.3 Survol des étapes de l'activité minière.....	11
4.3.1 Les effluents.....	13
4.3.2 Les rejets atmosphériques.....	13
4.4 Risques environnementaux associés à l'exploitation de l'uranium.....	13
<b>5 Mesures de protection de l'environnement pour la filière uranifère</b> .....	<b>14</b>
5.1 Programmes de gestion de l'environnement au Canada et sur la scène internationale.....	14
5.2 Mesures de prévention et d'atténuation.....	14
5.2.1 Les rejets atmosphériques.....	15
5.2.2 Les effluents.....	15
5.2.3 Les résidus miniers et d'usinage.....	15
5.3 Prévention et suivi.....	15
5.3.1 Radioactivité des sites miniers.....	16
5.4 Risques d'impacts chez les populations exposées.....	17
5.4.1 Les travailleurs.....	17
5.4.2 Les populations locales.....	19
<b>6 Conclusion</b> .....	<b>20</b>
<b>Références</b> .....	<b>21</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Processus de solubilisation de l'uranium. ....	1
Figure 1.2 : Représentation schématique de l'atome. ....	2
Figure 1.3 : Les rayonnements ionisants et leur pouvoir de pénétration. ....	3
Figure 2.1 : Localisation des ressources d'uranium au Québec. ....	6
Figure 4.1 : Extraction et transformation des minerais d'uranium. ....	12
Figure 4.2 : La poudre de yellowcake. ....	12
Figure 5.1 : Tendance des doses moyennes reçues à l'exploitation de Cluff Lake entre 2001 et 2007. ....	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Présence de l'uranium naturel dans l'environnement. ....	1
Tableau 1.2 : Contributions des diverses sources de radiations au Canada. ....	4
Tableau 3.1 : Synthèse de l'application des principales lois et règlements suivant les étapes d'exploration et d'exploitation de l'uranium. ....	9
Tableau 5.1 : Taux de radioactivité mesurés à différents endroits. ....	17
Tableau 5.2 : Classification des doses annuelles par catégorie d'emploi pour tout le Canada et doses reçues lors de divers examens radiologiques. ....	18

# 1 L'URANIUM ET LA RADIOACTIVITÉ

## 1.1 L'URANIUM DANS L'ENVIRONNEMENT

L'uranium est un métal radioactif naturellement présent dans l'environnement depuis la formation de la Terre. On le retrouve en très faible quantité dans le sol et les roches, ainsi que dans les aliments et l'eau que nous consommons. Il est toutefois plus abondant dans la nature que l'or, et sa concentration naturelle dans la croûte terrestre est évaluée en moyenne à 2,7 mg/kg. L'uranium est également présent dans les eaux naturelles, à des teneurs de l'ordre du microgramme ( $\mu\text{g}$ ) par litre (tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Présence de l'uranium naturel dans l'environnement.

Source	Concentration d'uranium, en $\text{mg/kg}^{(a)}$ (ppm)
Roche poreuse - calcaire	2
Roche dure - granite	4
Surface terrestre	3
Océan Atlantique	0,003
Eau douce de surface	< 0,001
Eau souterraine	0,000 001-2,6

<sup>a</sup> en mg/L pour les eaux

Sources : Vandenhove et coll, 2010; GA, 2008.

Dans l'environnement, l'uranium forme principalement un oxyde, l'uraninite ( $\text{U}_3\text{O}_8$  ou  $\text{UO}_2$ ), que l'on exploite dans les gisements. L'uranium se trouve également en faible quantité dans une variété de minéraux plus ou moins communs dans la croûte terrestre.

L'uranium est présent dans l'environnement sous des formes solubles ou non solubles, et différents processus naturels peuvent augmenter ou diminuer sa solubilité. Par exemple, dans des milieux naturels dits oxydants, c'est-à-dire en présence d'oxygène ou de bactéries qui favorisent l'oxydation, l'uranium non soluble peut se transformer en une forme soluble, ce qui aura pour effet d'augmenter sa mobilité dans le sol et les eaux naturelles (figure 1.1).

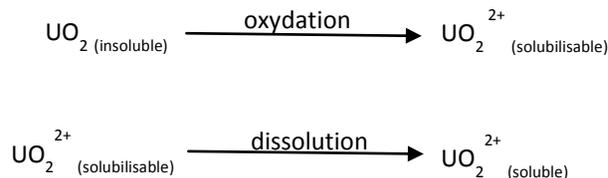


Figure 1.1 : Processus de solubilisation de l'uranium.

Sous sa forme soluble, l'uranium peut être assimilé par certains organismes vivants comme les plantes, les microorganismes, les animaux et les humains. Son impact environnemental est dû autant à son caractère chimique, puisqu'il s'agit d'un métal lourd, qu'à son caractère radioactif.

## 1.2 LA RADIOACTIVITÉ

La radioactivité est la conséquence de la désintégration spontanée du noyau d'un atome. L'atome, qui représente la plus petite partie d'un élément, est constitué d'un noyau de charge positive et d'un ou plusieurs électrons, de charge négative, qui gravitent autour (figure 1.2). Le noyau est formé de protons (particules de charge positive) et de neutrons (particules neutres, sans charge). Un élément possède plusieurs configurations de noyaux de masses différentes, appelées isotopes. Les isotopes se différencient les uns des autres par le nombre de neutrons que possède le noyau. Chaque isotope est identifié par le nom de l'élément et par le numéro représentant la masse totale de son noyau. Par exemple, les trois isotopes de l'uranium que l'on retrouve dans l'environnement sont l'uranium-238 (99,274 %), l'uranium-235 (0,720 %) et l'uranium-234 (0,0056 %). Ces derniers forment ce que l'on appelle *l'uranium naturel*.

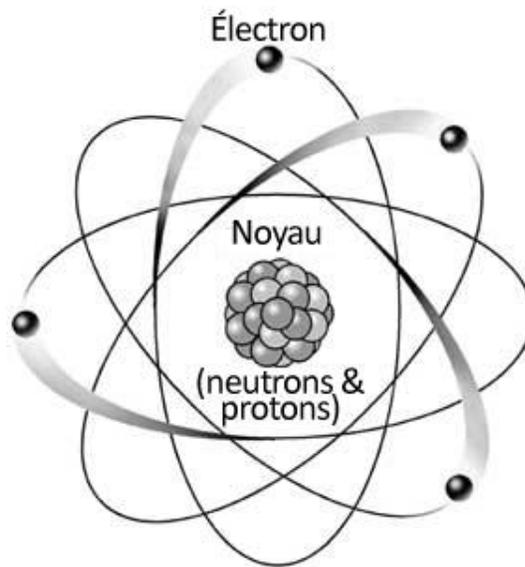


Figure 1.2 : Représentation schématique de l'atome.

Les isotopes de l'uranium naturel ont un noyau instable et qui se désintègre en éléments de masse plus faible en cherchant à adopter un état plus stable. Ces isotopes radioactifs sont appelés radio-isotopes ou radionucléides. La désintégration d'un noyau peut générer un nouveau noyau instable, qui cherchera à son tour à se stabiliser, ce qui engendrera une nouvelle désintégration. Ces séries de désintégrations constituent ce que l'on nomme la *chaîne de désintégration* de l'uranium, et les nouveaux isotopes formés sont ses *descendants*. La chaîne de désintégration de l'uranium-238 est constituée d'isotopes radioactifs comme le radium-226, le radon-222 et le polonium-210, qui sont tous des métaux, sauf le radon, qui est un gaz. Le plomb-206 est l'isotope stable final de la chaîne de désintégration de l'uranium-238.

Chaque désintégration d'un noyau s'accompagne d'un dégagement d'énergie sous la forme d'un rayonnement ionisant : c'est la radioactivité. Les trois rayonnements ionisants les plus communs pour les radionucléides d'origine naturelle sont les rayonnements alpha, bêta et gamma (figure 1.3).

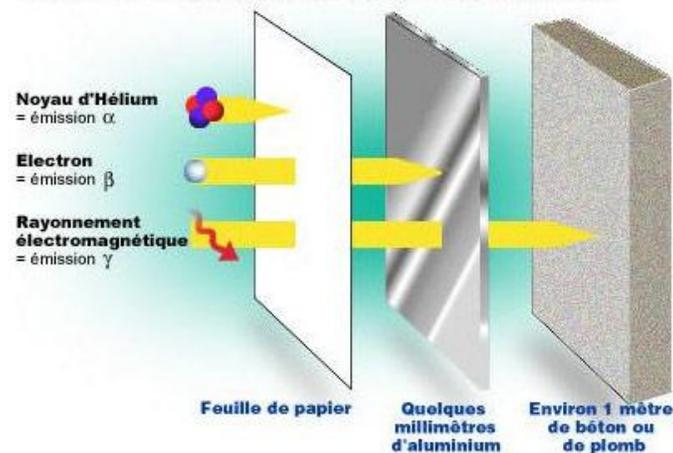
Le rayonnement alpha ( $\alpha$ ) est une particule de charge positive et de haute énergie, constituée d'un noyau d'hélium ( $\text{He}^{2+}$ ). Son énergie et sa taille sont telles qu'il interagit rapidement avec toutes les premières molécules qu'il rencontre sur son chemin. Par conséquent, son énergie est dissipée par quelques centimètres d'air ou par l'épaisseur d'une simple feuille de papier. Les particules alpha ne pénètrent donc pas la couche superficielle des

organismes vivants. Chez les humains, par exemple, elles sont arrêtées par les cellules mortes de la couche supérieure de la peau.

Le rayonnement bêta ( $\beta$ ) est un électron qui est éjecté de l'atome. Il est moins énergétique que le rayonnement alpha, dont il dépasse par contre le pouvoir de pénétration : sa portée est de quelques mètres dans l'air, et il faut au moins une feuille de contreplaqué pour l'arrêter. Son parcours moyen dans les tissus vivants est de 8 millimètres.

Le rayonnement gamma ( $\gamma$ ) est composé de photons de haute énergie qui sont des particules sans charge. Ce rayonnement est de même nature que la lumière ou les rayons X; il est donc extrêmement pénétrant. L'effet du rayonnement gamma ne sera atténué que par d'importantes épaisseurs de matériaux denses tels que le plomb et le béton.

#### Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements



Source : IRSN, 2013.

Figure 1.3 : Les rayonnements ionisants et leur pouvoir de pénétration.

Les atomes des éléments radioactifs se désintègrent à des rythmes variés. La rapidité de désintégration d'un atome est donnée par son **temps de demi-vie** ( $t_{1/2}$ ), soit le temps qu'il faut pour que la moitié des atomes initialement présents se désintègrent. Par exemple, le temps de demi-vie de l'uranium-238 est d'environ 4,5 milliards d'années. Par conséquent, la moitié des atomes d'uranium présents sur la Terre lors de sa formation se sont désintégrés naturellement.

L'intensité du rayonnement radioactif d'un radioisotope, ou son activité, se mesure en **becquerels (Bq)**. Un becquerel équivaut à une désintégration nucléaire par seconde. L'activité provenant de l'uranium dans la croûte terrestre est d'environ 40 Bq par kilogramme de roche. D'autres radionucléides primordiaux, c'est-à-dire présents depuis la formation de la Terre, contribuent au bruit de fond radioactif naturel. Les principaux radionucléides primordiaux sont, avec l'uranium-238, le thorium-232 et le potassium-40.

### 1.3 EXPOSITION AUX RADIATIONS

L'action des rayonnements ionisants sur les êtres vivants se produit à l'échelle des cellules. L'énergie du rayonnement excite les molécules qui perdent ou gagnent des électrons, ce qui interfère avec les processus cellulaires. Depuis le début de leur évolution, les cellules vivantes se sont adaptées à la présence de la radioactivité naturelle. Elles possèdent en effet des mécanismes de réparation des dommages causés par les rayonnements ionisants. Cependant, si les dommages sont trop nombreux, les mécanismes de défense deviennent inefficaces.

Une telle situation peut mener à une division cellulaire non contrôlée, ce qui conduit à la formation d'une tumeur cancéreuse.

Les doses reçues par un organisme représentent la quantité d'énergie de rayonnement ionisant absorbé par quantité de tissu. Cette mesure de l'exposition est appelée *dose efficace* et s'exprime en **sievert (Sv)**. Elle tient compte du type de rayonnement qui est reçu (alpha, bêta ou gamma) ainsi que de la sensibilité du tissu irradié (les organes reproducteurs, par exemple, sont plus sensibles au rayonnement ionisant que ne l'est la peau). La limite de dose efficace, de source autre que naturelle ou médicale, est établie par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) dans le Règlement sur la radioprotection. Cette limite de dose efficace est de un millisievert par année (1 mSv/an) pour le public.

Les êtres vivants sont constamment exposés à trois sources de radioactivité naturelle, soit le rayonnement cosmique, le rayonnement d'origine terrestre (qui inclut le radon) et le rayonnement interne provenant de l'alimentation. Les plantes et les animaux que nous consommons contiennent en effet eux aussi des radionucléides, puisqu'ils sont exposés aux mêmes sources de rayonnement ionisant d'origine terrestre. Le comité scientifique des Nations Unies estime que la dose d'exposition naturelle s'élève à environ 2,4 mSv/an. Cette dose varie selon le type d'alimentation et l'emplacement géographique. Par exemple, on observe que la présence de radionucléides cosmogéniques est plus importante en altitude qu'au niveau de la mer. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) rapporte que dans certaines régions du globe en haute altitude, la dose d'exposition naturelle peut s'élever à 24 mSv/an.

Les êtres vivants sont également exposés à des doses additionnelles de radioactivité d'origine anthropique, c'est-à-dire générée par l'humain. Ces doses proviennent principalement d'applications médicales (par exemple, les examens aux rayons X) et s'élèvent à environ 0,6 mSv/an au Canada. Les autres sources de radioactivité d'origine anthropique représentent environ 1 % de la dose artificielle totale et proviennent par exemple des centrales nucléaires ou des retombées atmosphériques résultant d'essais nucléaires réalisés par le passé (tableau 1.2). L'exposition à la radioactivité naturelle peut être accrue dans certains environnements de travail, tels que le secteur minier, où les travailleurs peuvent être exposés à des concentrations plus élevées de radionucléides naturels.

*Tableau 1.2 : Contributions des diverses sources de radiations au Canada.*

<b>Source</b>	<b>Contribution (%)</b>
Naturelles (88 %) :	
Radon-222	48
Rayonnement gamma	14
Alimentation (sources internes)	12
Rayons cosmiques	10
Radon-220	4
Artificielles (12 %) :	
Applications médicales	11
Autres sources	1

Source : BAPE, 2002.

## 2 ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES RESSOURCES URANIFÈRES AU QUÉBEC

### 2.1 LE POTENTIEL GÉOLOGIQUE DU QUÉBEC

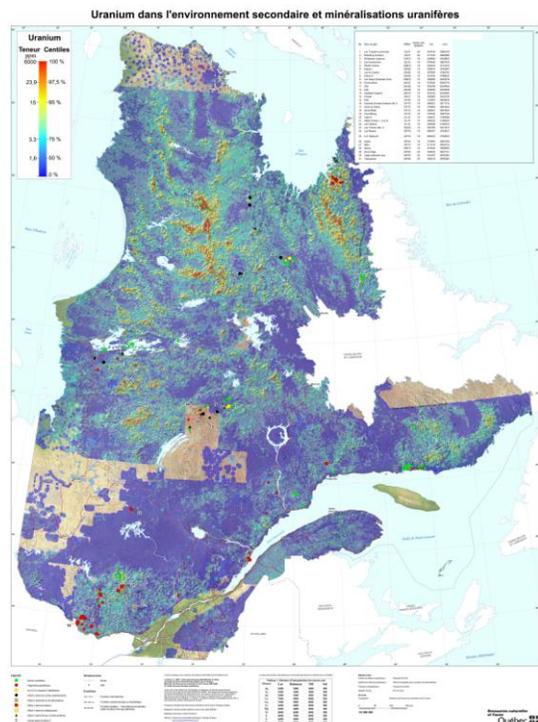
L'uranium est concentré dans de nombreux contextes géologiques. Au Québec, on connaît quatre types de gites uranifères :

- Les grès sont des roches sédimentaires qui correspondent à d'anciens sables. Vu leur perméabilité, ils permettent la circulation de fluides profonds qui mobilisent l'uranium. À la rencontre de barrières naturelles, tels les fronts d'oxydoréduction, l'uranium peut se concentrer. Ainsi, on connaît des gisements à très forte teneur, contenant parfois 20 % d'uranium, à la base de bassins sédimentaires, en Saskatchewan, par exemple. On retrouve des équivalents des gisements de la Saskatchewan dans les monts Otish (trois gites possédant des ressources en uranium d'environ 16 000 t d'U).
- Les conglomérats sont des accumulations de galets marquant le lit d'anciennes rivières. Au Précambrien, il y avait très peu d'oxygène dans l'atmosphère, de sorte que les grains d'uranium ne s'oxydaient pas et pouvaient s'accumuler au fond des rivières, étant donné leur densité élevée. On a exploité de tels gisements en Afrique du Sud, ainsi qu'en Ontario. Il existe des gites de ce type à la baie James (deux gites possédant des ressources en uranium d'environ 13 000 t d'U)
- Les granites peuvent concentrer l'uranium à la fin de leur cristallisation, ce qui donne des gisements à faible teneur mais à fort tonnage, comme ceux de Namibie. On connaît de nombreux petits gites de ce type sur la Basse-Côte-Nord, dans la région de Mont-Laurier et dans la région de la baie d'Ungava. Les ressources en uranium sont d'environ 29 000 t d'U.
- Le plus grand gisement d'uranium du monde, Olympic Dam en Australie, est associé à des brèches ferrugineuses à cuivre, or et uranium. On connaît des indices au Québec qui présentent des similitudes, sur la Basse-Côte-Nord et au Nunavik.

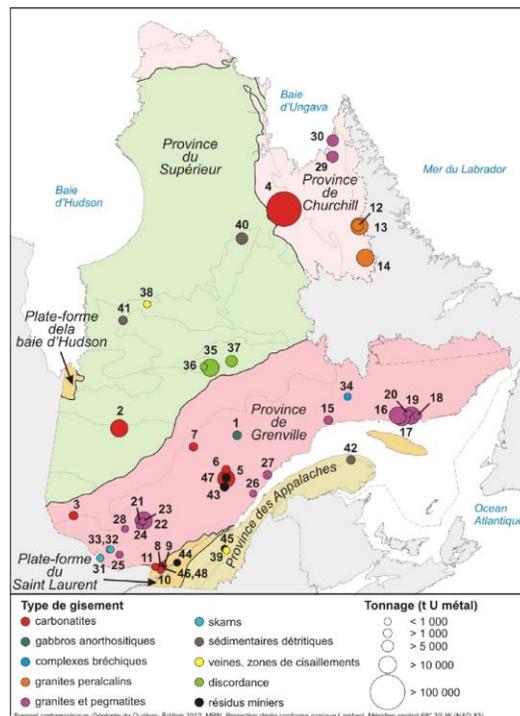
Les ressources minérales en uranium, identifiées dans cet inventaire, incluent tous les types de ressources minérales qui ont fait l'objet d'une déclaration dans des rapports publics. Les différents types de ressources minérales ne sont pas pris en compte à cause de l'hétérogénéité des données. On ne peut présumer que toutes, ou une partie, des ressources minérales de cet inventaire fera l'objet d'une exploitation minière éventuelle.

La carte géochimique du contenu en uranium des fonds de lacs (figure 2.1A), réalisée par le ministère des Ressources naturelles du Québec, permet d'avoir une image synthétique des zones de concentrations régionales en uranium dans l'environnement superficiel. On retrouve les zones mentionnées plus haut, ainsi que des concentrations correspondant à des zones encore peu explorées.

A.



B.



Source : MNR, 2007.

Légende (figure 2.1B) : 1 : Lac à Paul, 2 : Montviel, 3 : Kipawa (Zeus, Lac Sheffield-2), 4 : Asbram (Eldor) / Erlandson No.1 , 5 : Niobec, Nb Mine, 6 : Niobec REE projet, 7 : Crevier, 8 : Manoka (Oka) , 9 : Oka, (Zone Bond, Wayfair), 10 : St-Lawrence Colombium Mine (SLC), 11 : St-André-2, 12 : Strange Lake B Zone, 13 : Strange Lake Main Zone (Lac Brisson), 14 : Misery Lake, 15 : Lac Kachiviss, 16 : North Shore / Turgeon, 17 : Baie Quetachou, 18 : Doran (Lacana), 19 : Johann Beetz (Drucourt Est), , 20 : Lac Caron, 21 : Tom Dick (Zone Nord 1), 22 : Nova (ou Renard ou Allied (1-3), 23 : Mekoos (ou Bear, 3-3D), 24 : Lac Hanson, 25 : Lac Indien, Bain, 26 : Lac Fafard, 27 : Anomalie C11r4, 28 : Capri-2, 29 : Secteur North Rae, 30 : Secteur Cage, 31 : Grand Calumet / Calumet Contact N°3, 32 : Zone Matte, 33 : Zone de Camp, 34 : Kwyjibo, 35 : Matoush, 36 : Lac Beaver / Zoran, 37 : Lavoie / Indice L, 38 : Ganiq, 39 : Harvey Hill Cu mine, 40 : Dieter Lake / Lac Gayot, 41 : Apple, 42 : Grande-Vallée, 43 : Bonnes Rouges Usine Vandreuil - Jonquière, 44 : Phosphogypses, Varennes, 45 : Harvey Hill, résidus, 46 : Mine SLC, résidus, 47 : Mine Niobec, scories, 48 : Mine SLC, scories. Les indices uranifères sans estimation possible de ressources ne sont pas indiqués.

Figure 2.1 : Localisation des ressources d'uranium au Québec.

Le Québec dispose de ressources en uranium significatives sur le plan mondial. Il s'agit de gites à faible et à moyenne teneur en uranium. Il existe un potentiel pour des gisements comparables à ceux à haute teneur exploités en Saskatchewan. À l'heure actuelle, ces ressources en uranium ne sont pas valorisées.

## 2.2 EXPLORATION POUR L'URANIUM AU QUÉBEC

L'exploration pour l'uranium est réalisée par deux types d'entreprises : (1) les sociétés minières productrices d'uranium, et qui sont souvent intégrées verticalement afin de suivre complètement le cycle du combustible nucléaire, de la mine au retraitement; (2) les compagnies juniors sont de petites sociétés dont l'objectif est de découvrir de nouvelles ressources; elles peuvent ensuite soit les vendre à des compagnies plus importantes, soit tenter de les mettre en production elles-mêmes.

Plusieurs grandes entreprises sont présentes au Québec ou l'ont été : Areva Ressources Canada dispose de titres miniers en Ungava. Une filiale de Rio Tinto PLC, Hathor Exploration, est présente dans les monts Otish. CAMECO, la plus grande compagnie canadienne possède des titres miniers au Québec, par exemple dans le secteur des monts Otish.

Le Québec dispose de compétences reconnues dans le domaine de l'exploration minérale. Comme les techniques d'exploration pour ce métal sont comparables à celles utilisées pour les autres métaux, plusieurs petites compagnies s'y sont intéressées il y a une dizaine d'années. En juillet 2013, 48 projets d'exploration uranifère (figure 2.1B), appartenant à 26 compagnies distinctes, étaient actifs au Québec : trois projets étaient au stade de la préfaisabilité, dont deux pour l'uranium et un pour terres rares. Dans la région de Chibougamau et au nord de Schefferville, 8 étaient au stade de l'exploration avancée Il existe de nombreux autres projets d'exploration à un stade d'exploration préliminaire, sur lesquels aucun forage n'a encore été réalisé. Ressources Strateco est l'entreprise qui a développé le projet le plus avancé au Québec, dans les monts Otish. Il existe une dizaine d'autres petites compagnies qui disposent d'un portefeuille de projets diversifiés dont des projets uranifères, en particulier dans le nord du Québec. Environ 70 % de ces compagnies ont leur siège au Québec, les autres sont établies à Vancouver ou à Toronto.

### 2.3 UTILISATION DE L'URANIUM DANS LA FILIÈRE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE AU QUÉBEC

L'énergie nucléaire fournit près de 15 % de l'électricité du Canada, dont 40 % en Ontario. Le Canada possède un parc de 18 réacteurs CANDU (à eau lourde) qui ont été conçus par Énergie atomique du Canada limitée (EACL). L'industrie nucléaire canadienne emploie, directement ou indirectement, près de 66 000 personnes. Avec une production de près de 10 000 tonnes d'uranium en 2012, le Canada se place au deuxième rang des producteurs mondiaux d'uranium, derrière le Kazakhstan.

Il y a eu un seul site de production d'énergie électrique nucléaire au Québec. Il s'agit de la centrale de Gentilly-2 d'Hydro-Québec, située à Bécancour. Cette centrale a été en service de 1983 à 2012, et sa puissance était de 2156 MWt (puissance thermique), pour une production électrique nette de 635 MWe. Les déchets nucléaires sont stockés sur place dans une piscine où ils résident sept ans. L'École Polytechnique de Montréal possède un réacteur de recherche de classe SLOWPOKE-2; il s'agit d'un petit réacteur qui contient 5 kg d'uranium enrichi à 20 % en <sup>235</sup>U.

# 3 PERMIS ET AUTORISATIONS POUR LES PROJETS MINIERS URANIFÈRES AU QUÉBEC

Le processus d'obtention des permis est un élément central du contrôle des opérations minières au Québec, tant du point de vue de l'utilisation du territoire que du point de vue environnemental. Le nombre de permis à obtenir est plus élevé au stade de l'exploitation (et de sa préparation) qu'au stade de l'exploration. Les processus sont nombreux et font appel à plusieurs organismes des différents paliers de gouvernement

Les principaux ministères concernés sont celui des Ressources naturelles (MRN) et celui du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). La Loi sur les mines et la Loi sur la qualité de l'environnement constituent l'encadrement législatif principal (tableau 3.1). Pour les mines d'uranium, un organisme fédéral, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), délivre les certificats qui autorisent toutes les activités impliquant des matériaux radioactifs. Des procédures et permis supplémentaires sont donc requis, en concomitance avec ce que requièrent les lois du Québec.

Partout sur le territoire du Québec, les projets de mines d'uranium sont assujettis à une évaluation environnementale selon la procédure en vigueur dans la région concernée (nord du 55<sup>e</sup> parallèle, sud du 55<sup>e</sup> parallèle dans le territoire visé par la Convention de la Baie-James et du Nord québécois, région de Monier près du Labrador, ou Québec méridional). La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale doit elle aussi être respectée.

La CCSN ne considère pas qu'il y ait un danger spécifique pour la santé publique et l'environnement lors de l'exploration pour l'uranium. Elle n'est donc pas impliquée avant le stade de l'exploration avancée, lorsque celle-ci requiert l'excavation de roches où la radioactivité dépasse un certain seuil. Toutefois, les bonnes pratiques en matière de santé et sécurité pour les travailleurs œuvrant dans l'exploration de l'uranium sont détaillées dans les lignes directrices *e3 Plus*, un cadre de référence d'application volontaire développé par l'Association des prospecteurs et entrepreneurs du Canada (PDAC).

Les Autochtones sont pris en considération tout au long du processus. En effet, le droit canadien reconnaît l'obligation de consulter les communautés autochtones lorsqu'un droit ancestral est établi ou revendiqué et qu'une activité pourrait avoir un effet préjudiciable sur ce droit. Dans le cas de projets uranifères, la CCSN dispose de règles pour solliciter la participation des communautés autochtones. De plus, la Loi sur les mines prévoit de nouvelles dispositions propres aux autochtones. La prise en compte des droits et des intérêts des communautés autochtones fera partie intégrante de la conciliation de l'activité minière avec les autres possibilités d'utilisation du territoire.

Tableau 3.1 : Synthèse de l'application des principales lois et règlements suivant les étapes d'exploration et d'exploitation de l'uranium.

Juridiction québécoise		Juridiction fédérale
MRN	MDDEFP	CCSN
Loi sur les mines	Loi sur la qualité de l'environnement (LQE)	Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires
<b>Étape de l'Exploration</b> (Prospection, forages, échantillonnages, travaux d'accès au site)		
Acquisition d'un titre d'exploration (claim). Application réglementaire (p. ex. RNI).	Respect des lois et des règlements. Autorisation nécessaire si risque d'impact sur l'environnement.	
<b>Étape de l'Exploration avancée</b> (Travaux d'accès et caractérisation approfondie du gisement, analyse de faisabilité)		
Permis pour l'échantillonnage en vrac et, le cas échéant, approbation d'un plan restauration.	Respect des lois et règlement. Le cas échéant, autorisation requise si risque d'impact sur l'environnement et/ou si l'activité est réalisée en dans la région de la Baie James et du Nord québécois.	Permis pour l'extraction exigé.
<b>Étape avant la construction et l'exploitation</b> (Préparation et aménagement du site, construction des installations, aménagement souterrain ou à ciel ouvert)		
Demande de Bail minier : Démonstration de la viabilité de l'exploitation; Approbation d'un plan de restauration; Dépôt d'études de faisabilité et d'opportunité économique et de marché.	Applicabilité de la procédure d'évaluation environnementale (section IV.1 du chapitre I de la LQE et chapitre II de la LQE) : Réalisation d'une étude d'impact environnementale; Séance d'information et de consultation publiques et possibilité d'audience publique; Rapport d'analyse environnemental; Obtention d'un certificat d'autorisation (CA) en vertu des articles 31.5, 164 ou 201 de la LQE.  Obtention de CA en vertu de l'article 22 de la LQE préalable à la construction et à l'exploitation.	Réalisation de l'étude des incidences environnementales potentielles et des mesures d'atténuation.  Obtention d'un permis de préparation de l'emplacement et de construction.  Obtention d'un permis d'exploitation.
<b>Étape de l'exploitation</b>		
Mise à jour du Plan de restauration.	Dépôt d'une demande d'attestation d'assainissement. Mise en œuvre d'un programme de suivi des impacts permettant de contrôler le respect des normes réglementaires et des conditions d'autorisation	Mesure de contrôle afin de s'assurer du respect des règlements et des conditions établies dans les permis.
<b>Étape de fermeture, restauration et suivi du site</b>		
Sécurisation des lieux; Réalisation du plan de restauration	Poursuite du suivi environnemental tant qu'il y aura des rejets; Mise en œuvre, le cas échéant, d'un plan de réhabilitation des sols.	Obtention d'un permis de déclassement.  Obtention d'un permis d'abandon

# 4 INVENTAIRE DES IMPACTS POTENTIELS DE LA FILIÈRE URANIFÈRE

## 4.1 BIOACCUMULATION DE L'URANIUM DANS LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

Certaines espèces vivantes possèdent la capacité de bioaccumuler, c'est-à-dire d'absorber à l'intérieur de leur organisme des substances chimiques rares dans l'environnement, telles que les radionucléides. Ces substances peuvent être absorbées directement à partir du milieu environnant ou par l'alimentation.

L'uranium étant un élément peu soluble, il est généralement peu bioaccumulable par les végétaux. Il peut cependant être accumulé par certains organismes marins, tels les crustacés.

Il existe différentes façons pour un organisme d'absorber un élément; la voie de transfert désigne le chemin que prend un élément pour s'introduire dans un organisme. Chez les végétaux, la principale voie de transfert de l'uranium est la voie racinaire, alors que chez les animaux et les humains, il s'agit de la voie digestive.

La connaissance des voies de transfert, qui permet d'évaluer la présence des radionucléides à l'intérieur de divers organismes vivants, permet également de prévoir les impacts potentiels reliés à leur rejet dans l'environnement, par exemple lors d'activités minières.

## 4.2 TOXICITÉ DE L'URANIUM

Chez les animaux et les humains, la toxicité chimique de l'uranium résulte de l'absorption du contaminant à l'intérieur de l'organisme, soit par inhalation, soit par ingestion. La voie digestive est la voie d'absorption la plus fréquente compte tenu de la présence de l'uranium dans notre alimentation et dans l'eau potable. Des études menées en laboratoire ont montré que, lors de l'ingestion, l'absorption gastro-intestinale de l'uranium est faible, soit généralement inférieure à 5 % de l'uranium ingéré. La majeure partie de l'uranium ingéré n'est donc pas absorbée par l'organisme et est évacuée principalement par l'urine. Toutefois, de la quantité qui est absorbée après avoir traversé la barrière intestinale (< 5 %), une part importante s'accumule dans le rein. Les études ont montré que la toxicité chimique de l'uranium se traduit essentiellement par des problèmes d'insuffisance rénale. Précisons que, lors de ces études, des effets toxiques sont observés chez des animaux de laboratoire lorsque les quantités d'uranium, administrées quotidiennement, sont plus de 5000 fois supérieures aux quantités maximales journalières ingérées par la population canadienne moyenne.

Par ailleurs, de nombreuses études sur la toxicité de l'uranium ont été effectuées en laboratoire dans des conditions contrôlées où des espèces végétales sont exposées à des teneurs élevées en uranium. Ces études ont montré que la toxicité de l'uranium chez les végétaux s'observe, par exemple, par une perte de la biomasse ou par un ralentissement de la croissance.

L'intensité du rayonnement radioactif d'un élément, ou son activité, se mesure en **becquerel (Bq)**. Un becquerel équivaut à une désintégration nucléaire par seconde. L'activité provenant de l'uranium dans la croûte terrestre est d'environ 40 Bq par kilogramme de roche. En termes de radiotoxicité, l'uranium naturel est un radionucléide faiblement radioactif. Il n'émet qu'une faible quantité de rayonnements alpha en raison du long temps de demi-vie (4,5 milliards d'années) de son principal isotope, l'uranium-238, qui constitue plus de 99 % de l'uranium naturel. L'activité de l'uranium naturel est d'environ 25 000 Bq par gramme. Cela signifie que un (1) atome d'uranium sur  $1 \times 10^{17}$  se désintègre chaque seconde. Cela revient à comparer le poids d'une cellule humaine à celui d'une baleine

bleue. Le caractère radiotoxique de l'uranium est par conséquent négligeable comparativement à sa toxicité chimique.

Toutefois, malgré la faible radiotoxicité de l'uranium naturel, l'exploitation souterraine de l'uranium mène à la concentration en surface de certains de ses descendants plus radioactifs, comme le radium-226. Ces descendants possèdent une radiotoxicité supérieure à celle de l'uranium. Chez les travailleurs de l'industrie uranifère, l'inhalation est la voie la plus fréquente d'absorption de radionucléides. Lors de travaux d'extraction de minerai d'uranium, des radionucléides peuvent être inhalés sous la forme de particules en suspension. Dans ce cas, les particules solubles vont se dissoudre dans les sécrétions pulmonaires pour atteindre le reste de l'organisme par circulation sanguine, puis vont suivre le même parcours biologique que celles introduites dans l'organisme par la voie digestive. Les particules radioactives non solubles peuvent par contre rester dans les poumons pendant de longues périodes et transmettre des doses de rayonnement plus importantes que celles produites par les particules solubles ingérées, puis éliminées en grande partie.

Les radionucléides peuvent également être introduits dans l'organisme lors de l'inhalation du radon, un produit de dégradation de l'uranium naturel dont le temps de demi-vie est de 3,8 jours et qui représente la source la plus importante d'exposition naturelle aux rayonnements pour les êtres humains. Puisqu'il s'agit d'un gaz inerte, c'est-à-dire dépourvu de réactivité chimique, il migre facilement à partir du roc fissuré du sous-sol, ou à partir de particules de poussière présentes dans l'air ambiant (le radon ne peut s'échapper d'un roc solide non fissuré, où il restera confiné). Le radon inhalé qui ne s'est pas désintégré à l'intérieur des poumons est expulsé lors de l'exhalation. Par contre, les atomes de radon qui se sont désintégrés par émission alpha se sont transformés en descendants solides, comme le polonium-218 et le plomb-214, qui vont émettre à leur tour des rayonnements ionisants.

Plusieurs études ont démontré que des impacts à long terme sur la santé se manifesteront chez les mineurs si les mesures de protection sont inappropriées. Par exemple, l'exposition à des niveaux plus élevés que les niveaux naturels en radon accroît les risques de développer un cancer du poumon et diminue l'espérance de vie. Les particules fines provenant des poussières dans l'air présentent également un risque pour la santé des travailleurs. L'exposition à ces particules est associée à une augmentation de troubles graves comme des maladies cardiovasculaires ou respiratoires chez les humains.

### 4.3 SURVOL DES ÉTAPES DE L'ACTIVITÉ MINIÈRE

Les travaux associés à l'exploration minérale et l'exploitation de mines, dont les gisements d'uranium, se divisent en plusieurs étapes, et chacune de ces étapes représente un risque de rejet dans l'environnement de radionucléides et autres métaux lourds.

La première étape est l'exploration minérale, qui consiste à rechercher de nouveaux gisements d'uranium. Elle s'effectue à l'aide de différentes techniques, certaines étant non intrusives (comme la géophysique), d'autres nécessitant des travaux d'excavation de plus ou moins grande ampleur lors de l'exploration avancée, comme des trous de forage ou la construction de rampes d'accès (e3 Plus, 2009).

L'étape suivante est l'étape d'exploitation du minerai. Au Canada, l'excavation du minerai par fragmentation dans des mines souterraines ou à ciel ouvert représente la technique traditionnelle d'exploitation minière (figure 4.1).

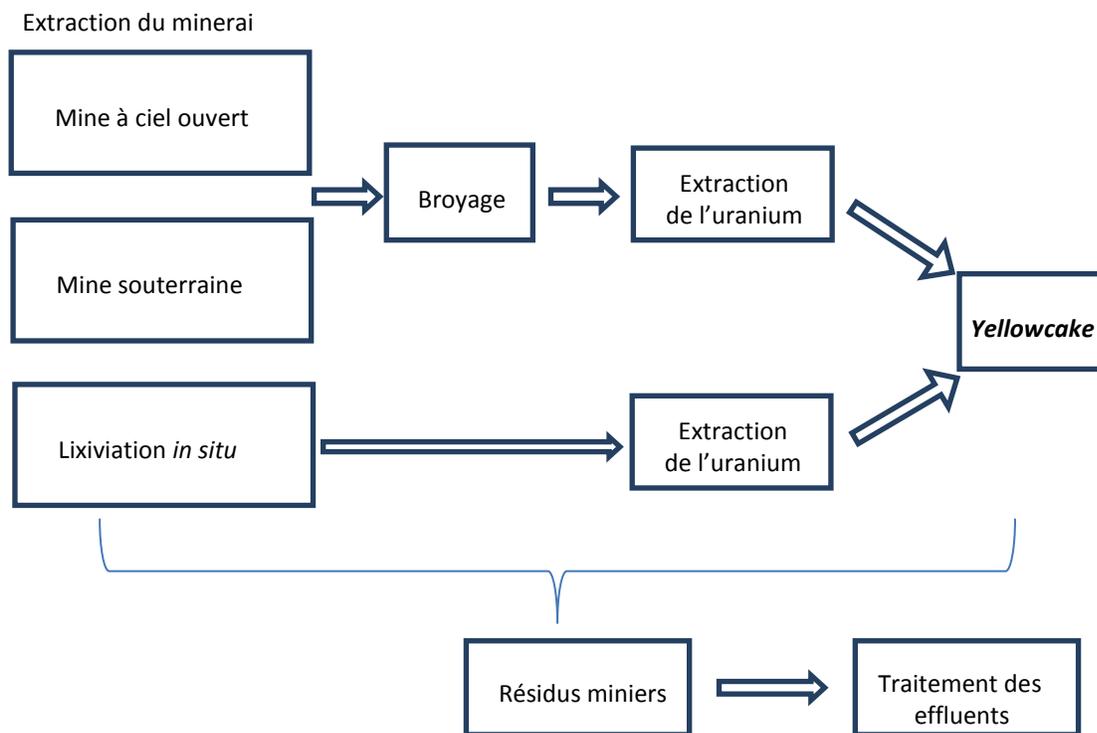


Figure 4.1 : Extraction et transformation des minerais d'uranium.

Lors des travaux d'excavation, des roches sont extraites afin de permettre l'accès au gisement. Les résidus miniers, parfois appelés « stériles » sont des roches qui ne contiennent pas d'uranium. Ces roches peuvent être entreposées séparément, et certaines d'entre elles peuvent être réutilisées. Les résidus miniers spéciaux, quant à eux, ne contiennent pas assez d'uranium pour former un minerai, mais leur teneur en uranium et en descendants radioactifs de l'uranium requièrent un entreposage adapté.

Après l'extraction, le minerai d'uranium est broyé, puis les composés uranifères sont solubilisés dans une solution acide. La concentration de l'uranium s'effectue dans une usine de traitement, généralement située à proximité de la mine, et un concentré d'oxyde d'uranium est produit, le *yellowcake* (figure 4.2).



Figure 4.2 : La poudre de yellowcake.

Source : Wikipedia  
 (<http://de.wikipedia.org/wiki/Yellowcake>).

La concentration de l'uranium produit des résidus d'usinage qui contiennent les descendants radioactifs. Ces résidus possèdent une grande partie de la radioactivité originale du minerai, produite pendant la longue période de désintégration nucléaire de l'uranium qui a eu lieu avant son extraction du socle.

Lorsque les opérations minières sont terminées, en raison de l'épuisement du gisement ou de conditions économiques défavorables, le site d'exploitation doit être restauré. Lors de cette étape, on procède entre autres au bétonnage des puits et des excavations, et au démantèlement des installations de surface. Les résidus miniers spéciaux et les résidus d'usinage sont entreposés de manière à prévenir la contamination de l'environnement, soit dans des parcs à résidus, soit dans des fosses d'exploitation abandonnées qui ont été préparées à cet effet.

#### 4.3.1 LES EFFLUENTS

Les effluents sont des eaux usées qui sont recueillies tout au long des opérations minières et qui sont entreposées dans des bassins de rétention afin d'être traitées. Ils sont composés par exemple d'eaux provenant des travaux d'extraction, des précipitations recueillies sur le site ou des solutions utilisées dans les procédés de concentration de l'uranium. Le traitement appliqué est spécifique à chaque site.

Le traitement des effluents permet de diminuer les teneurs en radionucléides, en métaux lourds et en solides en suspension. L'addition de composés chimiques, par exemple de la chaux ou des flocculants, permet la précipitation des radionucléides qui peuvent ensuite être retirés des eaux, notamment par filtration ou décantation. À la suite du traitement, les eaux sont échantillonnées et rigoureusement analysées. Elles doivent satisfaire les normes environnementales avant d'être rejetées dans l'environnement.

#### 4.3.2 LES REJETS ATMOSPHÉRIQUES

Des émissions atmosphériques ont lieu à chaque étape de l'exploitation minière. L'excavation des résidus miniers spéciaux qui contiennent de l'uranium et de ses descendants mène à l'émission de radon et de poussières dans l'environnement minier. Des teneurs élevées en radon peuvent être observées à l'intérieur des infrastructures souterraines ainsi que dans l'air d'évacuation.

L'entreposage en surface des résidus miniers spéciaux produit également des rejets atmosphériques, particulièrement s'ils sont disposés en surface sans protection contre l'érosion par le vent. Les résidus d'usinage, qui contiennent 70 % à 85 % du matériel radioactif contenu dans le minerai original, émettent des rayonnements gamma et du radon gazeux.

### 4.4 RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIÉS À L'EXPLOITATION DE L'URANIUM

En l'absence de procédés de contrôle et de traitements adéquats, des impacts importants sur l'environnement se produiront à la suite de l'extraction de l'uranium. La contamination radioactive des sols et des eaux naturelles peut survenir lorsqu'il y a dissémination des radionucléides dans l'environnement, ce qui devient possible lors du rejet dans l'environnement d'effluents contaminés ou dans le cas d'une mauvaise gestion des résidus miniers et d'usinage.

Les résidus solides entreposés en surface contiennent des radionucléides qui peuvent être entraînés dans le sol par les eaux de précipitation. Certains résidus miniers et d'usinage peuvent générer du drainage minier contaminé, dont le *drainage minier acide*, qui survient lorsque des roches contenant des sulfures métalliques sont oxydées dans l'air ambiant. En présence d'eau ou d'air, ces sulfures forment de l'acide sulfurique, qui possède la capacité de solubiliser plusieurs métaux présents dans le minerai, dont l'uranium.

# 5 MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT POUR LA FILIÈRE URANIFÈRE

## 5.1 PROGRAMMES DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT AU CANADA ET SUR LA SCÈNE INTERNATIONALE

Par le passé, de nombreux impacts écologiques ont été causés par l'absence de procédés de contrôle et de traitements adéquats des résidus et effluents miniers. Les procédures appliquées à l'échelle internationale étaient très différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui, et l'impact des substances radioactives sur la santé et sur l'environnement était méconnu. Entre 1920 et la fin des années 1950, la radioactivité intriguait et était symbole de modernité. On produisait même des crèmes de beauté radioactives comportant du radium, et ces crèmes étaient en vente libre en Europe et en Amérique du Nord. Le manque de connaissances scientifiques sur les dangers liés à la radioactivité et l'absence de mesures de contrôle ont eu des impacts sur la santé des mineurs, impacts souvent associés à la présence du radon.

Afin d'éviter des dommages environnementaux et sanitaires liés aux activités d'exploration et d'exploitation de l'uranium, des sociétés minières et les gouvernements de nombreux pays, dont les gouvernements canadien et québécois, préconisent aujourd'hui des approches de prévention et de planification. Les sites miniers sont exploités dans des conditions différentes de ce qu'elles étaient par le passé. Aujourd'hui, les approches utilisées tiennent compte, en plus des facteurs économiques, des facteurs sociaux et environnementaux qui étaient auparavant négligés. Par exemple, la restauration des sites miniers est souvent entreprise dès le début des travaux d'exploitation et se poursuit tout au long de l'exploitation d'une mine, de manière à limiter au minimum l'empreinte environnementale de l'activité minière. La restauration progressive permet également d'adapter les méthodes de protection environnementale et de restauration aux nouvelles technologies. Elle prémunit aussi contre les risques d'une contamination dont les effets pourraient se faire ressentir à long terme.

Afin de structurer les approches de prévention, des sociétés minières occidentales ont implanté des systèmes de gestion de l'environnement, telle la certification ISO 14001, qui encadre la gestion des impacts environnementaux dans un système d'amélioration en continu. Afin de conserver cette certification environnementale, qui doit être renouvelée tous les trois ans, les sociétés minières doivent se soumettre périodiquement à des vérifications indépendantes.

Au Canada, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) réglemente la présence des radionucléides et établit des limites quant à leur concentration. La CCSN réglemente également les mesures de radioprotection, c'est-à-dire les procédures qui sont appliquées afin d'assurer la protection des travailleurs et de la population contre les effets potentiellement négatifs des rayonnements ionisants. Elle vérifie par exemple le port obligatoire du dosimètre, un instrument de mesure qui permet d'enregistrer et de calculer les doses de rayonnement reçues pendant une période de travail.

## 5.2 MESURES DE PRÉVENTION ET D'ATTÉNUATION

Les impacts environnementaux liés aux activités minières sont principalement dus aux importantes quantités de roches qui doivent être excavées et à leur accumulation en surface, ainsi qu'à l'accumulation de résidus d'usinage et d'effluents industriels. Les résidus miniers et d'usinage augmentent les risques d'exposition au rayonnement gamma, au radon et aux poussières, et accroissent les risques de dispersion des radionucléides dans

l'environnement. Par conséquent, des mesures de protection sont aujourd'hui appliquées afin de contrôler les rejets atmosphériques et les effluents contaminés.

### 5.2.1 LES REJETS ATMOSPHÉRIQUES

La protection des employés contre les rejets atmosphériques dépend de mesures telles que le confinement du minerai pendant les différentes étapes de broyage, de transport et de traitement. À cet égard, les exploitants de mines à forte teneur en uranium ont instauré des techniques d'extraction qui permettent de limiter au minimum le contact entre les travailleurs et le minerai : de l'équipement de minage contrôlé à distance peut être utilisé, et le minerai est confiné à l'intérieur de conduits blindés souterrains pendant les différents processus d'extraction, ce qui réduit les émissions de rayonnement gamma et la présence de poussières. Le radon libéré dans les galeries souterraines est évacué par des systèmes de ventilation. Ces derniers sont conçus pour remplacer l'air souterrain, afin que l'exposition des travailleurs soit réduite à son minimum. Le radon est ensuite rapidement dilué en surface par la ventilation naturelle, et les teneurs en radon observées sur les sites miniers sont aujourd'hui du même ordre de grandeur que les teneurs régionales.

### 5.2.2 LES EFFLUENTS

Les eaux naturelles, lorsqu'elles sont contaminées, représentent la principale voie de dissémination des radionucléides dans l'environnement. Par conséquent, toutes les eaux utilisées sur les sites d'extraction minière sont aujourd'hui récupérées et traitées, ce qui permet de ramener les concentrations en radionucléides, en métaux lourds, en solides en suspension et en sels dissous sous les concentrations maximales imposées par les autorités gouvernementales. Le suivi de la qualité des eaux de surface et souterraines est effectué pendant les opérations minières, ce qui permet d'évaluer les risques d'accumulation de radionucléides dans des organismes vivants comme les poissons et les plantes aquatiques habitant les eaux de proximité.

### 5.2.3 LES RÉSIDUS MINIERS ET D'USINAGE

Les résidus miniers, confinés dans des parcs, contiennent des radionucléides qui peuvent être entraînés dans l'environnement lors de précipitations de pluie ou de neige. Le ruissèlement issu des parcs à résidus est recueilli par un réseau de drainage et est dirigé vers une usine de traitement.

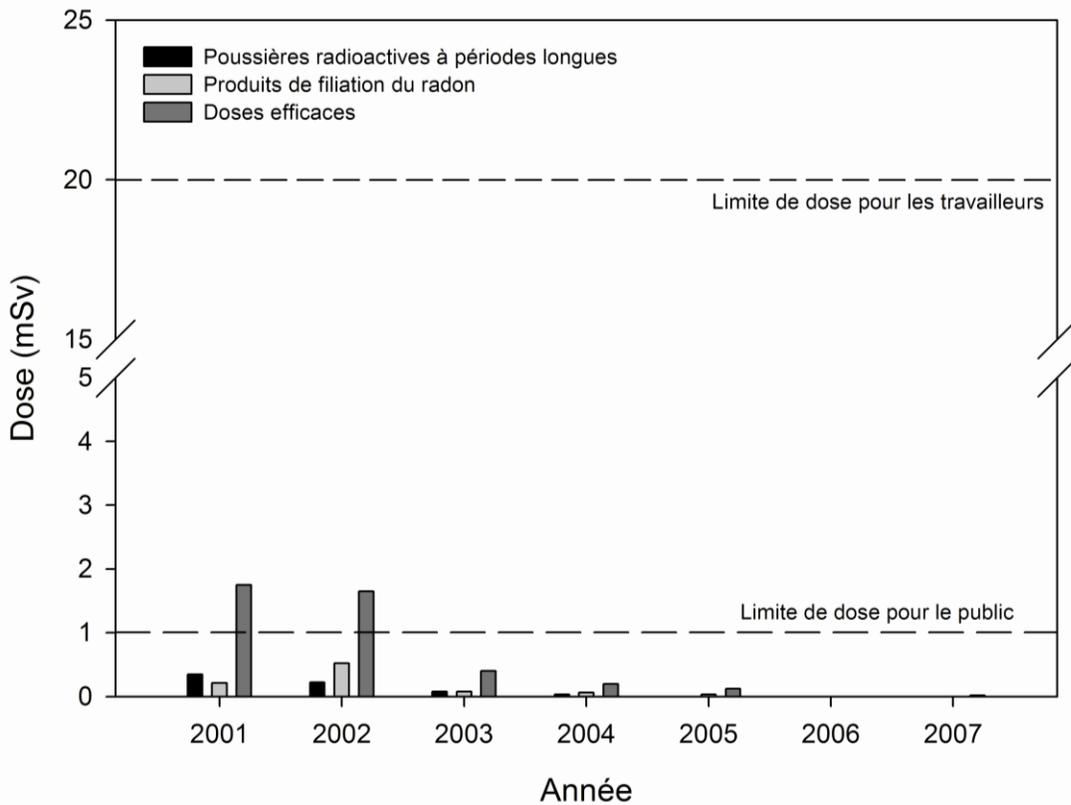
Durant les opérations minières et lors de la restauration d'un site minier, les résidus miniers et d'usinage peuvent être recouverts d'eau ou de matériaux qui résistent à l'érosion afin de former un écran entre les résidus et l'atmosphère. Cette couverture réduit les risques de dispersion des radionucléides ainsi que l'exposition externe due à l'émission de radon et de poussières radioactives, et elle absorbe également une partie importante du rayonnement gamma émis.

## 5.3 PRÉVENTION ET SUIVI

Avant le début des activités d'exploration avancée et d'exploitation, les sociétés minières procèdent à des analyses de terrain afin de caractériser l'environnement biophysique du site. La composition chimique des sols est déterminée, et les eaux de surface et souterraines sont échantillonnées et contrôlées.

Suivant la détermination des techniques d'extraction et de traitement de l'uranium qui seront les plus appropriées, le développement d'un programme de suivi environnemental réduit le risque de contamination potentielle et limite les impacts environnementaux. Par exemple, le suivi de la qualité des eaux de surface et souterraines est effectué afin de prévenir l'accumulation de radionucléides chez les organismes vivants habitant les eaux de proximité ainsi que dans les sédiments.

Un processus de surveillance et de suivi des rejets atmosphériques a été instauré sur le site minier Cluff Lake en Saskatchewan, qui a été exploité pendant plus de 20 ans, jusqu'à sa fermeture en 2002. Ce type de suivi a permis à la CCSN d'évaluer les doses efficaces moyennes reçues par les employés entre 2001 et 2007. La figure 5.1 montre que les poussières radioactives et au radon diminuent considérablement après l'arrêt des opérations minières (2002), pour devenir négligeables à partir de 2006.



Source : CCSN, 2009.

Figure 5.1 : Tendence des doses moyennes reçues à l'exploitation de Cluff Lake entre 2001 et 2007.

Le gouvernement canadien impose donc des contrôles continuels stricts sur les sites miniers pendant les travaux, ainsi que plusieurs années après la fin des opérations.

### 5.3.1 RADIOACTIVITÉ DES SITES MINIERES

La radioactivité mesurée sur les sites miniers est variable d'un site à l'autre et dépend de facteurs tels que la composition chimique du minerai. Dans certains cas particuliers, cette radioactivité peut s'avérer moins importante que celle mesurée à des endroits qui sont naturellement radioactifs compte tenu de facteurs géologiques. À titre de comparaison, le tableau 5.1 présente les débits de dose observés à divers endroits dans le monde.

Tableau 5.1 : Taux de radioactivité mesurés à différents endroits.

<b>Débit de dose</b>	
<b>Endroit</b>	<b>Débit mesuré (<math>\mu</math>Sv/heure)</b>
Site minier Cluff Lake : niveaux naturels d'exposition gamma de référence, dans les zones non affectées par les opérations (1999)	0,01 à 0,5 <sup>(a)</sup>
Bruit de fond planétaire	0,09 <sup>(b)</sup>
Régions granitiques hors de toute influence d'activité minière	0,15 <sup>(c)</sup>
Site minier Cluff Lake : niveaux les plus élevés de radiations gamma, observés à l'aire de gestion des résidus de traitement, près de l'usine de traitement et des aires de stockage des résidus (1999)	$\geq 5$ <sup>(a)</sup>
Doses de rayonnement cosmique reçues pendant les vols commerciaux, dépendant des paramètres d'altitude, de position et de taches solaires.	1-10 <sup>(d)</sup>
Débit mesuré à 1 m d'un patient après l'administration de 0,74 GBq de technécium-99m	10 <sup>(d)</sup>
Sables des plages de la station balnéaire de Guarapari (Brésil)	20 <sup>(e)</sup>

<sup>a</sup> CCSN, 2003 <sup>b</sup> IRSN, 2011 <sup>c</sup> IRSN, 2009 <sup>d</sup> UNSCEAR, 2008 <sup>e</sup> ULB, 2009.

## 5.4 RISQUES D'IMPACTS CHEZ LES POPULATIONS EXPOSÉES

### 5.4.1 LES TRAVAILLEURS

L'exposition au rayonnement ionisant comporte un risque de dommages biologiques. Bien que le risque associé au rayonnement de source naturelle soit minime, le risque est plus élevé dans certains secteurs de l'industrie, comme dans le secteur des mines d'uranium. Par conséquent, des limites de dose efficace ont été établies au Canada afin de protéger la population et les travailleurs contre une surexposition au rayonnement ionisant. Ces doses, qui excluent la radioactivité de source naturelle ou médicale, ont été établies à 1 mSv/année pour le public et à 100 mSv sur 5 ans, avec un maximum de 50 mSv sur un an, pour les travailleurs du secteur de l'uranium. Les doses reçues par les travailleurs du secteur minier proviennent principalement du radon et de ses produits de désintégration.

À des fins de comparaison, le tableau 5.2 présente les moyennes de doses annuelles reçues par les travailleurs de différents secteurs pour l'année 2008 au Canada. Les doses reçues lors de certains examens radiologiques y sont également présentées. Il convient de noter qu'aucune limite de dose ne s'applique aux patients qui subissent un examen ou un traitement médical comportant des rayonnements ionisants.

Les organismes vivants ne font pas la distinction entre une radiation d'origine naturelle ou artificielle : lorsqu'une dose de rayonnement est reçue, peu importe son origine, il n'y a pas de différence quant aux effets qui sont causés.

Tableau 5.2 : Classification des doses annuelles par catégorie d'emploi pour tout le Canada et doses reçues lors de divers examens radiologiques.

Catégorie d'emploi	Dose moyenne annuelle <sup>(a)</sup> (mSv)
Personnel de bureau	0,04
Hygiéniste dentaire	0,01
Radiologiste industriel	2,06
Technicien en médecine nucléaire	1,60
Mine d'uranium : mineur sous terre	2,43
Mine d'uranium : mineur en surface	0,37
Mine d'uranium : infirmière	0,13
Examen	Dose ponctuelle <sup>(b)</sup> (mSv)
Radiographie dentaire	0,01
Radiographie de la poitrine	0,1
Mammographie de dépistage	3
Tomodensitométrie abdominale (adulte)	10
Tomodensitométrie abdominale (néonatale)	20

<sup>a</sup> Santé Canada, 2008 <sup>b</sup> CCSN, 2012.

Les méthodes de protection des travailleurs de l'extraction uranifère sont les mêmes que celles utilisées dans l'ensemble de l'industrie minière (protection contre l'exposition aux métaux lourds ou aux poussières, par exemple), mais une protection additionnelle cible le risque associé au rayonnement ionisant. Divers équipements de blindage limitant au minimum l'exposition aux rayonnements ionisants sont utilisés par les employés du secteur minier, et le port du dosimètre est obligatoire pour chaque travailleur. Les dosimètres portés sont soumis à la surveillance d'agences indépendantes qui compilent les résultats observés et les transmettent à Santé Canada. Des employés de la CCSN procèdent d'ailleurs à des inspections dans les environnements de travail et évaluent les programmes destinés à la radioprotection des travailleurs.

Les mesures de protection des travailleurs, notamment une ventilation souterraine adéquate et des programmes de protection contre le rayonnement, n'ont pas toujours été mises en place. Des études rapportent que, dans le passé, les taux de cancer du poumon liés à la présence du radon étaient de beaucoup plus élevés chez les travailleurs des mines d'uranium que dans le reste de la population. Aujourd'hui, des facteurs importants comme la diminution du temps d'exposition, réduisent le risque d'apparition du cancer du poumon, et les mineurs actuels sont exposés à de très faibles taux de radon.

La CCSN prévoit qu'environ 24 000 personnes seront employées pour différentes périodes dans les mines de la Saskatchewan d'ici à 2030. De ce nombre, 141 mineurs risquent de développer un cancer du poumon, principalement en raison de l'usage du tabac, et un (1) mineur pourrait développer un cancer du poumon par exposition au radon en milieu de travail. À titre de comparaison, la Société canadienne du cancer rapporte qu'au Canada, en 2013, environ 60 hommes sur 100 000 auront développé un cancer du poumon, ce qui équivaut à environ 14 hommes sur 24 000.

Dans l'état actuel des connaissances, le risque des travailleurs de l'uranium de développer un cancer du poumon attribuable uniquement au contact avec le radon dans le cadre du travail est infime.

#### 5.4.2 LES POPULATIONS LOCALES

L'intensité des radiations diminue de façon exponentielle avec la distance par rapport à la source. La dose reçue par la population canadienne en général, à la suite d'une exposition au rayonnement ionisant dans le cadre de l'exploitation minière de l'uranium, représente généralement une fraction (0,001 à 0,1 mSv/an) de la dose totale acceptable pour la population (1 mSv/an).

Chez les populations locales, la dose reçue peut provenir de l'ingestion d'aliments de source végétale ou animale ou de la consommation d'eau. Pour l'eau potable, les concentrations en uranium doivent être égales ou inférieures à la concentration maximale au Canada, qui est de 20 µg/L. À titre de comparaison, les eaux de surface présentent généralement une concentration en uranium inférieure à 1 µg/L. En ce qui concerne la qualité des sols au Canada, la concentration d'uranium permise pour les sols agricoles peut atteindre 23 mg d'uranium par kg de sol, alors que la concentration maximale permise pour les sols industriels est de 10 fois supérieure (300 mg d'uranium par kg de sol). Ces valeurs devraient servir de barèmes lors de la restauration de sites miniers.

## 6 CONCLUSION

L'uranium est un métal lourd naturellement présent dans l'environnement (socle rocheux, eau, biosphère). Son noyau atomique instable se désintègre lentement en émettant un rayonnement ionisant, et ce, afin de se transformer en atomes plus légers (ses descendants) selon une chaîne de désintégration qui se termine par la formation d'un atome stable. L'uranium et sa désintégration mènent à de multiples applications dans la société civile, qui sont employées dans la production d'énergie électrique, dans l'agriculture, ainsi que dans le secteur médical.

Le Canada est le deuxième producteur d'uranium au monde. Le Québec ne produit pas d'uranium présentement, mais plusieurs projets d'exploration sont en cours à divers stades d'avancement. Le Québec possède un fort potentiel uranifère. Les ressources en uranium sont estimées à 315 000 tonnes. Moins de 30 % de ces ressources se situent dans des dépôts où l'uranium serait le produit principal, et environ 60 % se trouvent dans des dépôts où l'uranium constituerait un coproduit qui pourrait être valorisé. Les autres ressources en uranium se trouvent dans des résidus miniers et industriels.

L'exploration et l'exploitation de l'uranium sont régies par les lois du Québec en ce qui concerne les mines et l'environnement, ainsi que par les lois du Canada, car la juridiction sur l'uranium est de compétence fédérale. La mise en exploitation des mines d'uranium est autorisée et supervisée par la Commission canadienne de sûreté nucléaire, tout comme le sont le déclassement des installations et la restauration des sites à la fin des travaux. Les lois et règlements en place au Québec et au Canada visant les aspects environnementaux et de radioprotection sont reconnus comme étant exemplaires à l'échelle internationale et se basent sur des concepts scientifiques démontrés. Leur respect et leur application demeurent le meilleur outil pour réduire les impacts potentiels associés à l'exploration et à l'exploitation des ressources uranifères au Québec.

L'uranium et ses descendants présentent une toxicité potentielle en raison de leur caractère à la fois chimique et radioactif. La radiotoxicité de l'uranium est toutefois négligeable comparativement à sa toxicité chimique, et cette dernière dépend de l'accumulation et de la mobilité de l'uranium dans l'environnement. Dans les zones riches en uranium, il est impératif de quantifier, de la façon la plus exhaustive possible, les teneurs naturelles dans l'environnement (air et eau) et dans les espèces végétales faisant partie de l'alimentation des organismes vivants de niveau trophique supérieur. La connaissance de ces teneurs permettra de prévoir les changements possibles de mobilité des radionucléides dans l'environnement. Vu le nombre de paramètres physico-chimiques influant sur la mobilité de l'uranium et de ses descendants, la caractérisation des mécanismes biogéochimiques spécifiques à un site d'exploitation permettrait de mieux cibler les paramètres qui induiront un changement de mobilité et ainsi de permettre, le cas échéant, une restauration appropriée. Ce type d'analyse devrait être proposé et supervisé par un organisme indépendant de gestion de l'environnement.

L'impact environnemental lié à l'étape d'exploration pour l'uranium est faible, et il augmente durant les stades d'exploration avancée. Les forages d'exploration et l'excavation d'échantillons de minerai en vrac sont les principales activités pouvant avoir un impact environnemental.

Durant l'exploitation et la restauration d'un site minier uranifère, on peut prévenir la dispersion de l'uranium et de ses descendants dans l'environnement en contrôlant les émissions de poussières et en appliquant des mesures de confinement des effluents et des résidus miniers. La protection des travailleurs et de la population contre le rayonnement ionisant s'effectue par le recouvrement des résidus à l'aide de matériaux qui absorbent l'énergie du rayonnement émis et qui évitent de surcroît la dispersion des éléments radioactifs dans l'environnement. La ventilation des espaces clos permet de maintenir les teneurs en radon et en poussières radioactives à des niveaux qui sont du même ordre que les niveaux régionaux.

## RÉFÉRENCES

- BAPE, (Bureau d'audiences publiques sur l'environnement), 2002, Projet d'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium à Oka. Rapport d'enquête et d'audience publique 167. 130 pages. Récupéré de : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape167.pdf>.
- CCSN (Commission canadienne de sûreté nucléaire), 2003, Rapport d'Étude Approfondie du Projet de Déclassement de Cluff Lake. Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. Récupéré de : [http://www.ceaa-acee.gc.ca/41B79974-docs/report\\_f.pdf](http://www.ceaa-acee.gc.ca/41B79974-docs/report_f.pdf).
- CCSN, 2009, Données sur les doses reçues par les travailleurs dans les grandes installations nucléaires canadiennes 2001-2007. 76 p. [http://nuclearsafety.gc.ca/pubs\\_catalogue/uploads\\_fre/INFO\\_0775\\_f.pdf](http://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads_fre/INFO_0775_f.pdf)
- CCSN, 2012, Doses de rayonnement. Récupéré de : <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm>.
- e3 Plus, 2009, Excellence en gérance environnementale (EGE), Version 1, l'Association canadienne des prospecteurs et entrepreneurs.
- GA (Government of Alberta), SENES Consultants Limited, 2008, Environmental Impacts of Different Uranium Mining Processes, ISBN 978-0-7785-8125-3, 56 p. + annexes.
- IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), 2009, L'exposition radiologique des personnes du public aux stériles miniers. Récupéré de : [http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-locales/sites-miniers-uranium/Documents/irsn\\_mines-uranium\\_exposition-steriles-miniers.pdf](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-locales/sites-miniers-uranium/Documents/irsn_mines-uranium_exposition-steriles-miniers.pdf).
- IRSN, 2011, Dosimétrie environnementale. Récupéré de : (<http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionuclides/Documents/Dosim%C3%A9trie%20environnementale.pdf>).
- IRSN, 2013, La radioactivité naturelle renforcée. Récupéré de : <http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/radioactivite-environnement/sources-radioactivite/Pages/3-radioactivite-naturelle-renforcee.aspx?dId=2ef28ef7-3363-4bed-b7b3-47a597e68d1d&dwId=02b23d3f-13d2-4faa-ab26-1e26e8c4700c>.
- MRN (Ministère des Ressources naturelles), 2007, Uranium dans l'environnement secondaire et minéralisations uranifères. Récupéré de : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/mines/uranium.pdf>.
- Santé Canada, 2008, Rapport de 2008 sur les radioexpositions professionnelles au Canada. Récupéré de : [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2012/sc-hc/H126-1-2008-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/sc-hc/H126-1-2008-fra.pdf).
- ULB (Université Libre de Bruxelles), 2009, Sources naturelles de rayonnement Brussels. Récupéré de : [http://metronu.ulb.ac.be/Pauly/metronu/3\\_12.pdf](http://metronu.ulb.ac.be/Pauly/metronu/3_12.pdf).
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2008, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume 1, Annex B: Exposures of the Public and Workers from Various Sources of Radiation, 245 p. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienne. Récupéré de : [http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753\\_Report\\_2008\\_Annex\\_B.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_B.pdf).
- Vandenhove, H., Hurtgen, C., et Payne, T. E., 2010, Uranium, *in* Atwood, D.A., ed., Radionuclides in the Environment: Chichester, John Wiley & Sons, p. 261-272.