

# 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

Mai 2014



Bonjour,

Nous allons vous présenter 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.

Cette présentation reprend les grands éléments d'un rapport réalisé en 2013 pour le le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles et le Ministère du Développement durable, de l'Environnement, et la Lutte contre les changements climatiques.

Le rapport a été réalisé par une équipe de professeurs et de professionnels de recherche de l'Université Laval et de l'UQAM avec l'appui du réseau DIVEX. DIVEX est un réseau d'innovation qui réunit les experts géologues de sept universités québécoises. Le groupe est indépendant de l'industrie et est financé entièrement par le Fond de recherche du Québec, Nature et Technologies.

# 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



Nous envisagerons tout d'abord qu'est ce que l'uranium et la radioactivité

CLIC

Nous présenterons ensuite les gisements d'uranium et les ressources en uranium du Québec

CLIC

Dans un troisième volet, nous verrons quels sont les permis et autorisations requises lors de l'exploration et de l'exploitation minière

CLIC

Les impacts potentiels de la filière uranium sur l'environnement et la santé seront ensuite présentés

CLIC

Enfin, nous aborderons les mesures de protection à envisager.

# L'URANIUM ET LA RADIOACTIVITÉ



Qu'est ce que l'uranium? D'où vient-il et qu'est-ce que la radioactivité?



**L'URANIUM DANS L'ENVIRONNEMENT  
NATUREL:  
TENEUR EN URANIUM EN GRAMME PAR TONNE  
(PPM) ET RADIOACTIVITÉ (BECQUEREL)**



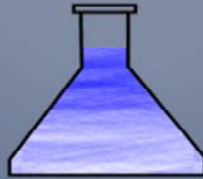
4

1000 Bq



2

400 Bq



<0,001

1 Bq



0,003

10 Bq



400-  
200 000

25 MBq

L'uranium est un élément caractéristique de la croûte continentale, Sa concentration moyenne est de l'ordre de quatre grammes par tonne de granite,

Certains granites peuvent être naturellement enrichi en uranium jusqu'à plusieurs dizaines de grammes par tonne comme par exemple sur la Basse Côte Nord



## L'URANIUM DANS L'ENVIRONNEMENT TENEUR EN URANIUM EN GRAMME PAR TONNE (PPM)



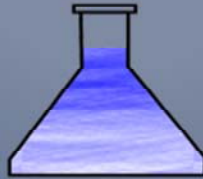
4

1000 Bq



2

400 Bq



<0,001

1 Bq



0,003

10 Bq



400-  
200 000

25 MBq

Dans les roches sédimentaires, comme les calcaires beaucoup utilisés en construction, la teneur est du même ordre de grandeur, 2 grammes par tonne en moyenne



**L'URANIUM DANS  
L'ENVIRONNEMENT  
TENEUR EN URANIUM  
EN GRAMME PAR  
TONNE (PPM)**



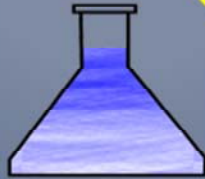
4

1000 Bq



2

400 Bq



<0,001

1 Bq



0,003

10 Bq



400-  
200 000

25 MBq

L'eau des rivières est très pauvre en uranium, moins d'un milligramme par tonne d'eau



**L'URANIUM DANS  
L'ENVIRONNEMENT  
TENEUR EN URANIUM  
EN GRAMME PAR  
TONNE (PPM)**



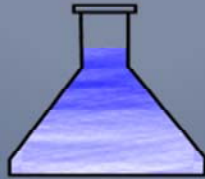
4

1000 Bq



2

400 Bq



<0,001

1 Bq



0,003

10 Bq



400-  
200 000

25 MBq

L'eau de mer est un peu plus riche, 3 milligrammes d'uranium par tonne d'eau. C'est très peu, mais il y a beaucoup d'eau !



## L'URANIUM DANS L'ENVIRONNEMENT TENEUR EN URANIUM EN GRAMME PAR TONNE (PPM)



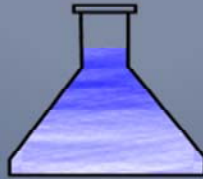
4

1000 Bq



2

400 Bq



<0,001

1 Bq



0,003

10 Bq



400-  
200 000  
25 MBq

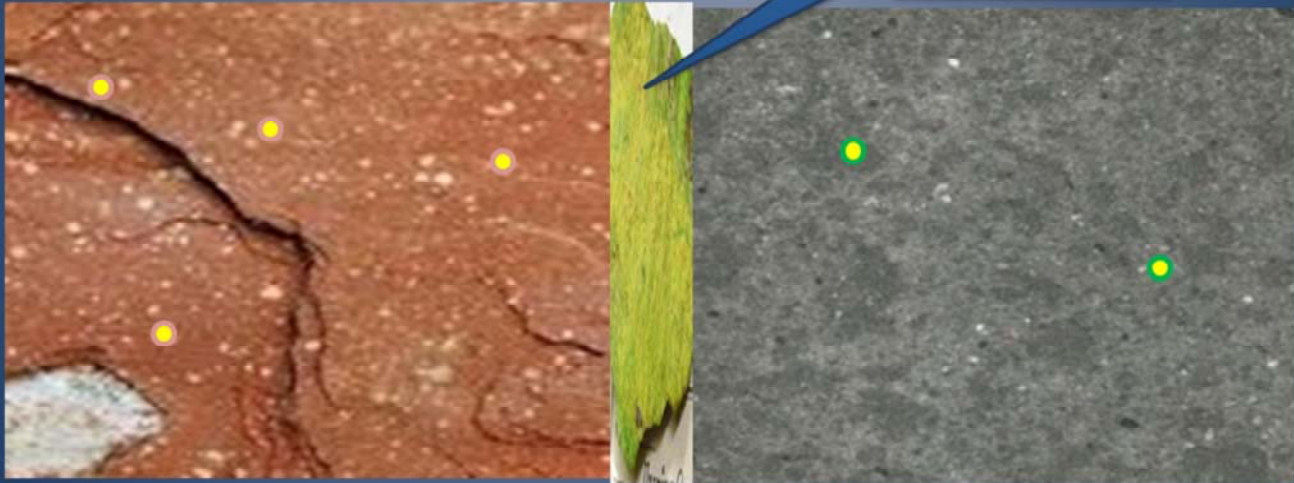
Les gisements d'uranium ont des teneurs d'exploitation très variable, depuis quelques centaines de grammes par tonne dans des gisements de l'Afrique Australe, en Namibie par exemple, à des teneurs très élevées, de deux cent mille gramme par tonne, soit 20 %, dans les gisements de la Saskatchewan.





## L'URANIUM DANS L'ENVIRONNEMENT

L'uranium se fixe sur les barrières d'oxydo-réduction



En milieu oxydant, riche en oxygène, l'uranium est mobile, soluble dans l'eau; il peut se déplacer avec les eaux de surface. Un grès rouge, à gauche, est un exemple de milieu oxydant; sa couleur vient du fer qui est rouillé.

CLIC

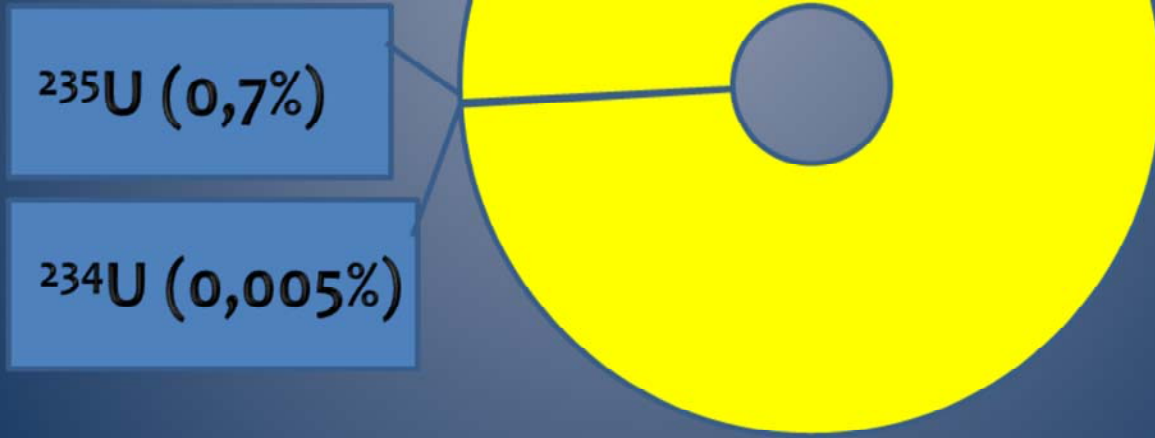
Par contre, en milieu réducteur, plus pauvre en oxygène, comme le grès gris à droite, l'uranium est peu mobile; il est insoluble et immobile

CLIC

Dans la nature, les interfaces entre zones oxydantes et zones réduites concentrent l'uranium. C'est ainsi que se forment la plupart des gisements d'uranium. C'est aussi une manière de piéger la migration de l'uranium en surface

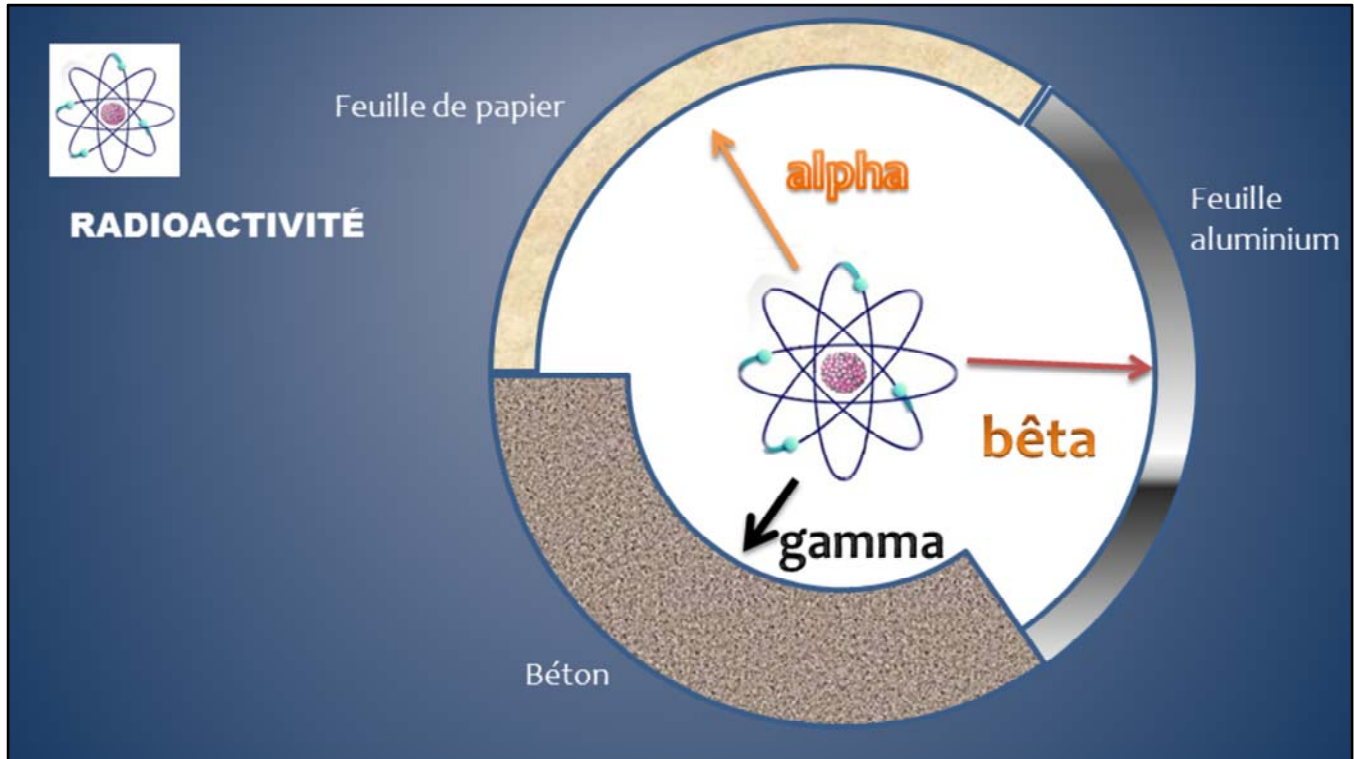


## ISOTOPES DE L'URANIUM



Les atomes d'uranium sont parmi les plus gros atomes dans la nature. L'uranium est présent sur terre possède trois configurations de noyau, communément appelé **isotopes**: l'uranium 238, le plus abondant, l'uranium 235 et l'uranium 234 très rare. Le noyau de chacun de ces isotopes est instable.

Par la désintégration du noyau, l'uranium se transforme lentement en plusieurs autres éléments, des métaux comme le plomb, le cobalt, mais aussi du gaz comme le **radon**. Ce processus est très lent.



A chaque fois que le noyau se transforme, il émet de l'énergie, des radiations.  
On en connaît trois grands types.

**Les rayons alpha** correspondent à des noyaux d'hélium; cette radiation est arrêtée par une simple feuille de papier.

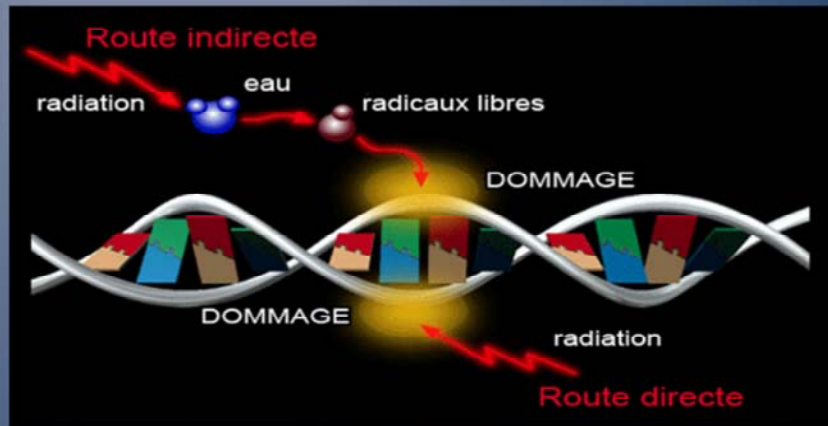
**Les rayons beta** correspondent à l'émission d'un électron. Ils sont un peu plus énergétique, mais s'arrêtent grâce une feuille d'aluminium.

**Les rayons gamma** ont le plus d'énergie; ce sont des ondes électromagnétiques, comparables à des ondes radio ou des ondes de téléphone cellulaire, mais très intenses. Il faut environ un mètre de béton pour les atténuer.



## L'EXPOSITION AUX RADIATIONS

- *Dommmages à l'échelle cellulaire*



L'action des rayonnements ionisants sur les êtres vivants se produit à l'échelle cellulaire. L'énergie du rayonnement excite les molécules avoisinantes, comme l'eau, qui perdent ou gagnent des électrons, créant ainsi des radicaux libres qui peuvent interagir avec le brin d'ADN interférant ainsi avec les processus cellulaires.

Le rayonnement ionisant peut agir également de façon directe via des interactions qui endommageront le brin d'ADN. Depuis le début de leur évolution, les cellules vivantes se sont adaptées à la présence de la radioactivité naturelle. Elles possèdent 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 soit à la mort de la cellule ou encore en une mutation, des processus qui à long terme peuvent résulter en la formation d'une tumeur cancéreuse.



## ACTIVITÉ PAR OPPOSITION À LA DOSE



Bq

Activité : Nombre de ballons  
frappés (ex. 6)



Dose : Énergie transférée au tissu  
de la main pour bloquer le ballon

Gy

Dose efficace :  
Douleur ressentie

Sv

Clarifions un peu la terminologie, en faisant une analogie avec un joueur de soccer.

Le nombre de fois que le joueur frappe un nouveau ballon par unité de temps représente **l'activité**. Un becquerel, dont le symbole est Bq, représente une désintégration, un réarrangement nucléaire par seconde.

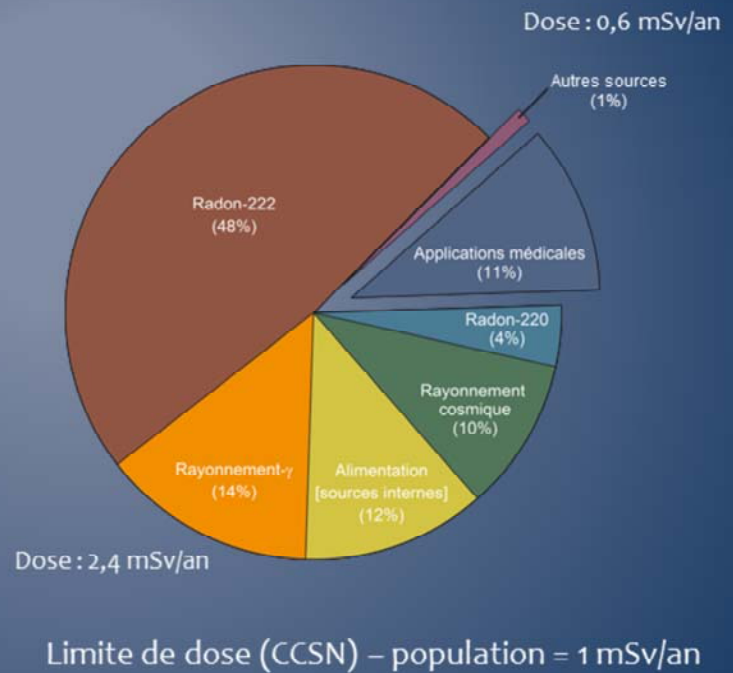
Lorsque le ballon frappe le gardien, il l'arrête avec ses mains. L'énergie du ballon est ainsi transférée dans les mains du gardien. Ce transfert d'énergie s'appelle **la dose** et s'exprime en Gray, dont le symbole est Gy. Un gray représente un joule d'énergie absorbé par un kilogramme de matière. Plus un rayonnement est énergétique, plus la dose reçue sera élevée.

Finalement, la douleur ressentie par le joueur lors du transfert énergétique représente **la dose efficace** et s'exprime en Sievert, dont le symbole est Sv. Elle tient compte du type de rayonnement qui est reçu ainsi que de la sensibilité du tissu irradié.



## SOURCES D'EXPOSITION

| Type d'examen médical                    | Dose ponctuelle (mSv) |
|--|-----------------------|
| Radiographie dentaire                    | 0,01                  |
| Radiographie de la poitrine              | 0,1                   |
| Mammographie de dépistage                | 3                     |
| Tomodensitométrie abdominale (adulte)    | 10                    |
| Tomodensitométrie abdominale (néonatale) | 20                    |



En effet, 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. Ces trois sources représentent environ 88% de la dose efficace totale reçue par la population.

Le comité scientifique des Nations Unies estime que la dose d'exposition naturelle s'élève à environ 2,4 millisievert par an. Cette dose est une moyenne et varie selon le type d'alimentation et l'emplacement géographique.

L'exposition à la radioactivité naturelle peut également 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.

### CLIC

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 pour un canadien à environ 0,6 millisievert par an, et représentent environ 11% de la dose efficace totale.

CLIC

Certains types d'examen médicaux utilisant de la radiation ionisante peuvent occasionner des doses ponctuelles allant de 0.01 à 20 millisievert.

CLIC

Les autres sources de radioactivité d'origine anthropique représentent moins de 1 % de la dose efficace totale et proviennent par exemple des centrales nucléaires ou des retombées atmosphériques résultant d'essais nucléaires réalisés par le passé. 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.

CLIC

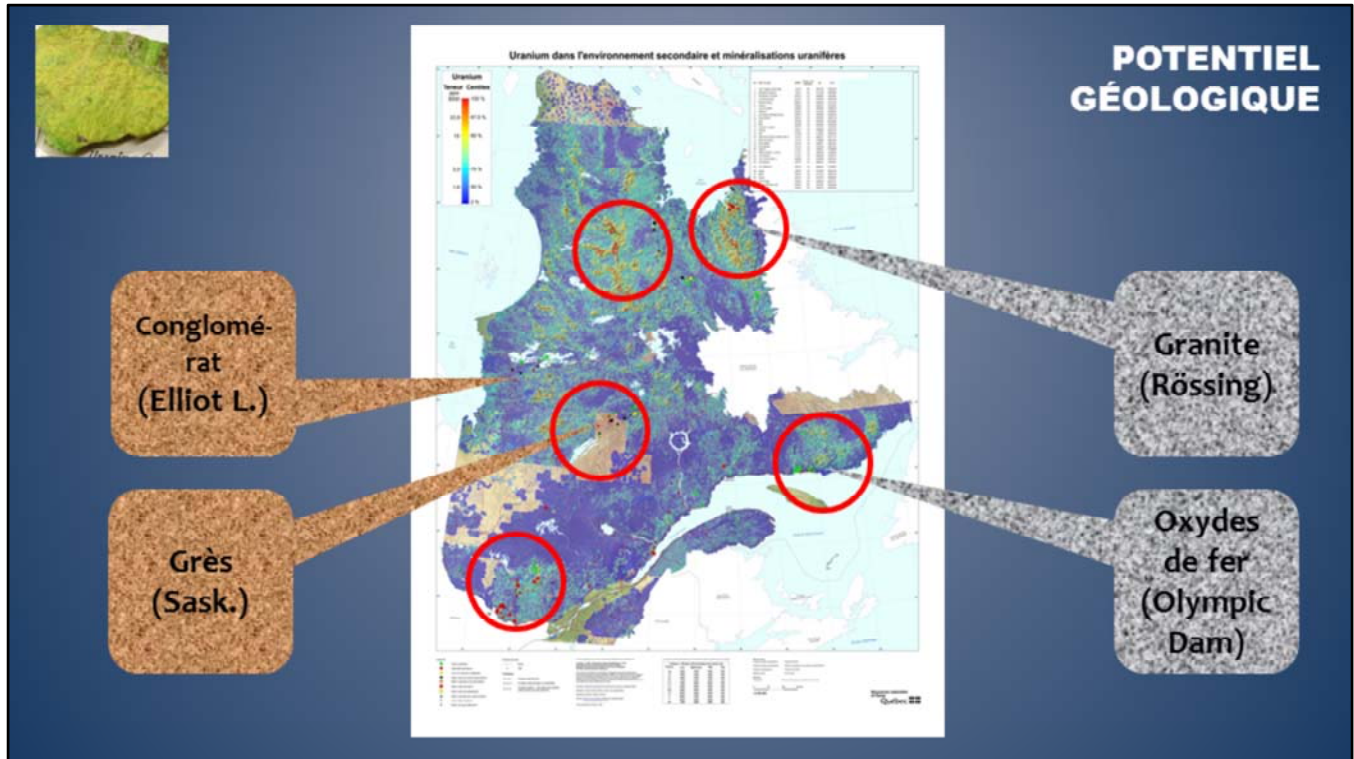
La limite de dose efficace, de source autre que naturelle ou médicale, est établie par la Commission canadienne de sûreté nucléaire dans le Règlement sur la radioprotection. Cette limite de dose efficace est de un millisievert par année pour le public. Cette valeur s'ajoute à la dose efficace d'origine naturelle.

# LES RESSOURCES URANIFÈRES DU QUÉBEC



Quelles sont les ressources naturelles en uranium du Québec ?





Le Québec occupe un vieux continent, parmi les plus vieux de toute la planète. Il présente donc de nombreuses concentrations géologiques en uranium, en particulier dans les provinces géologiques de Grenville et du Supérieur.

L'analyse des sédiments dans les fonds de lac dans tout le Québec a permis au Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles de dresser un portrait des principales zones de concentrations naturelles,

- CLIC dans la Gatineau,
- CLIC sur la Côte Nord,
- CLIC dans les Monts Otish, au Nord Est de Chibougamau
- CLIC et dans le Nord du Québec.

Sur la base des analyses existantes, on peut estimer les accumulations possibles d'uranium dans plusieurs secteurs; ce sont des ressources présumées, un potentiel géologique, sans considération de leur valeur économique.

A ce jour, les études géologiques ont montré que plusieurs secteurs du Québec pourraient contenir des concentrations d'uranium comparable à celles qui sont exploitées avec profit

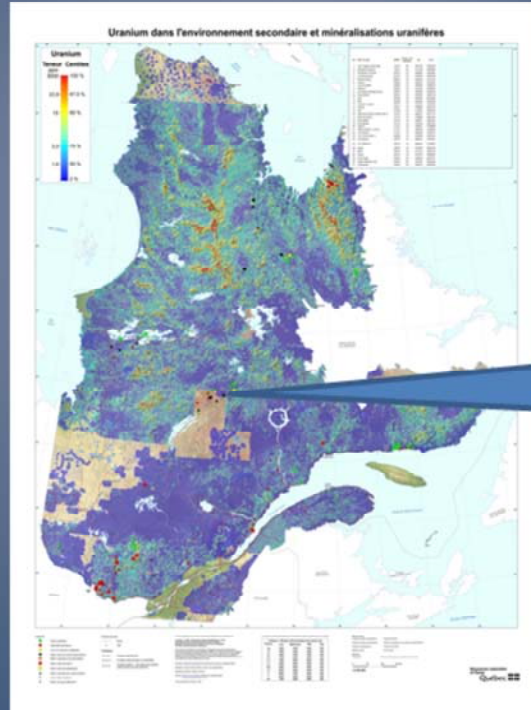
- CLIC dans des grès, comme en Saskatchewan,
- CLIC dans des conglomérats, comme en Ontario,
- CLIC dans des oxydes de fer, comme en Australie, et
- CLIC dans des granites comme en Namibie.

Il existe donc un potentiel pour des gîtes à basses et à hautes teneurs en uranium sur notre territoire

Le Québec reste très peu exploré pour l'uranium et on ne peut pas connaître son potentiel sans faire des travaux d'exploration.



26 compagnies minières explorent pour l'uranium au Québec  
3 majeurs, 23 juniors  
Siège social au Québec



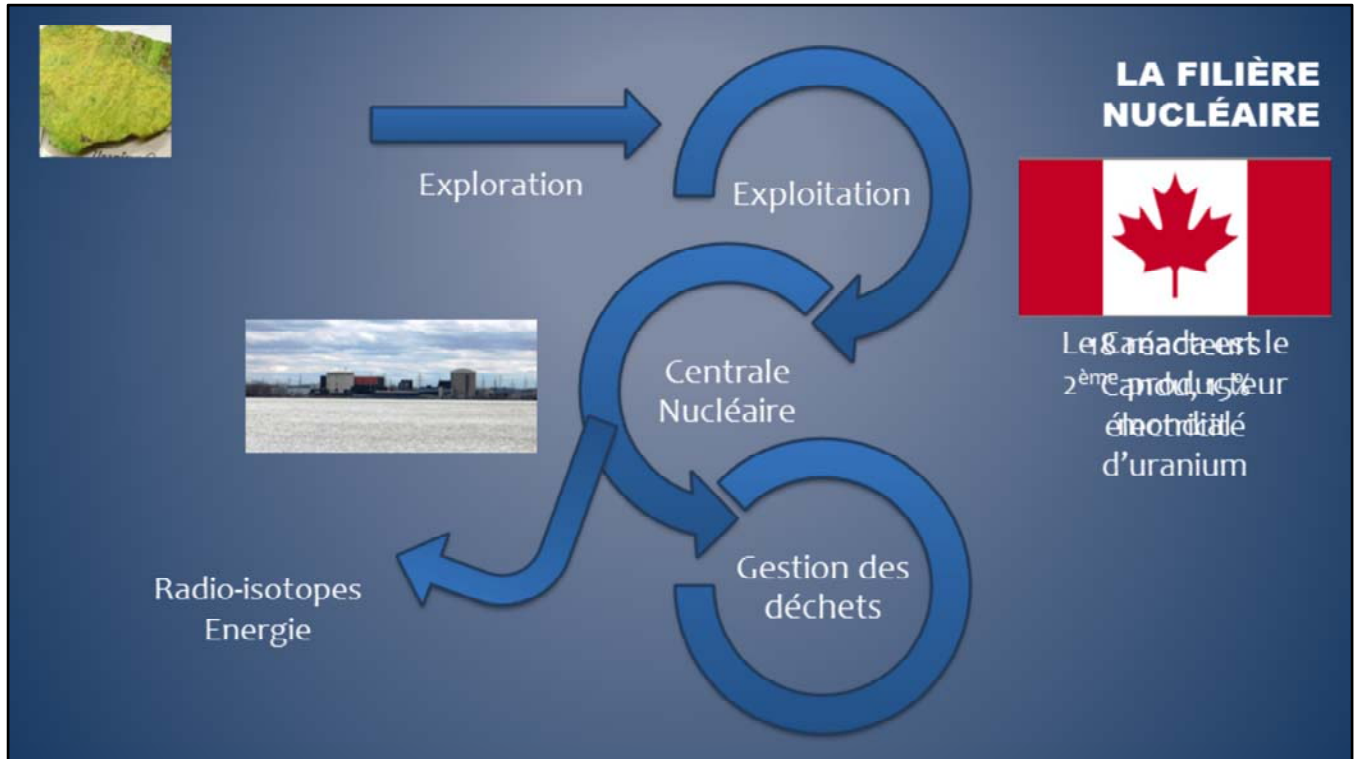
**POTENTIEL MINIER**

Projet le plus avancé:  
Ressources Strateco  
(Monts Otish)

En 2013, vingt six compagnies minières exploraient pour l'uranium au Québec. Il s'agit soit de compagnies majeures, comme la canadienne CAMECO, la française AREVA ou la britannique RIO TINTO, soit de compagnies d'exploration juniors au nombre de 23. Leur siège social est en majorité au Québec.

CLIC

Les travaux restent peu avancés. Sur 48 projets, seul le projet de Ressources Strateco dans les monts Otish au Nord de Chibougamau est à un stade très avancé.

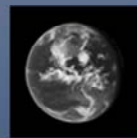
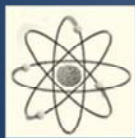


Le Canada est le deuxième producteur d'uranium dans le monde, avec ses riches gisements du Saskatchewan. L'énergie nucléaire produit 15% de l'électricité du Canada, à partir de 18 réacteurs Candu. La filière nucléaire emploie 66 000 personnes au Canada.

Au Québec, la centrale de Gentilly a été en service de 1983 à 2012. Sa production d'électricité était de près de 4 000 gigawatt heure. Les déchets sont stockés sur place.

Il existe aussi un petit réacteur de recherche à l'École Polytechnique. De nombreux appareils médicaux et plusieurs industries utilisent des isotopes issus de l'uranium en particulier pour le traitement des tumeurs cancéreuses.

# PERMIS ET AUTORISATION



Que dit la loi ?



## MINISTÈRES ET ORGANISMES CONCERNÉS

Énergie et Ressources naturelles

Québec



Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques

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.

Les principaux ministères concernés sont celui de l'Énergie et des Ressources naturelles et celui du Développement durable, de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques.

La Loi sur les mines et la Loi sur la qualité de l'environnement constituent l'encadrement législatif principal.

Pour les mines d'uranium, un organisme fédéral indépendant, 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.



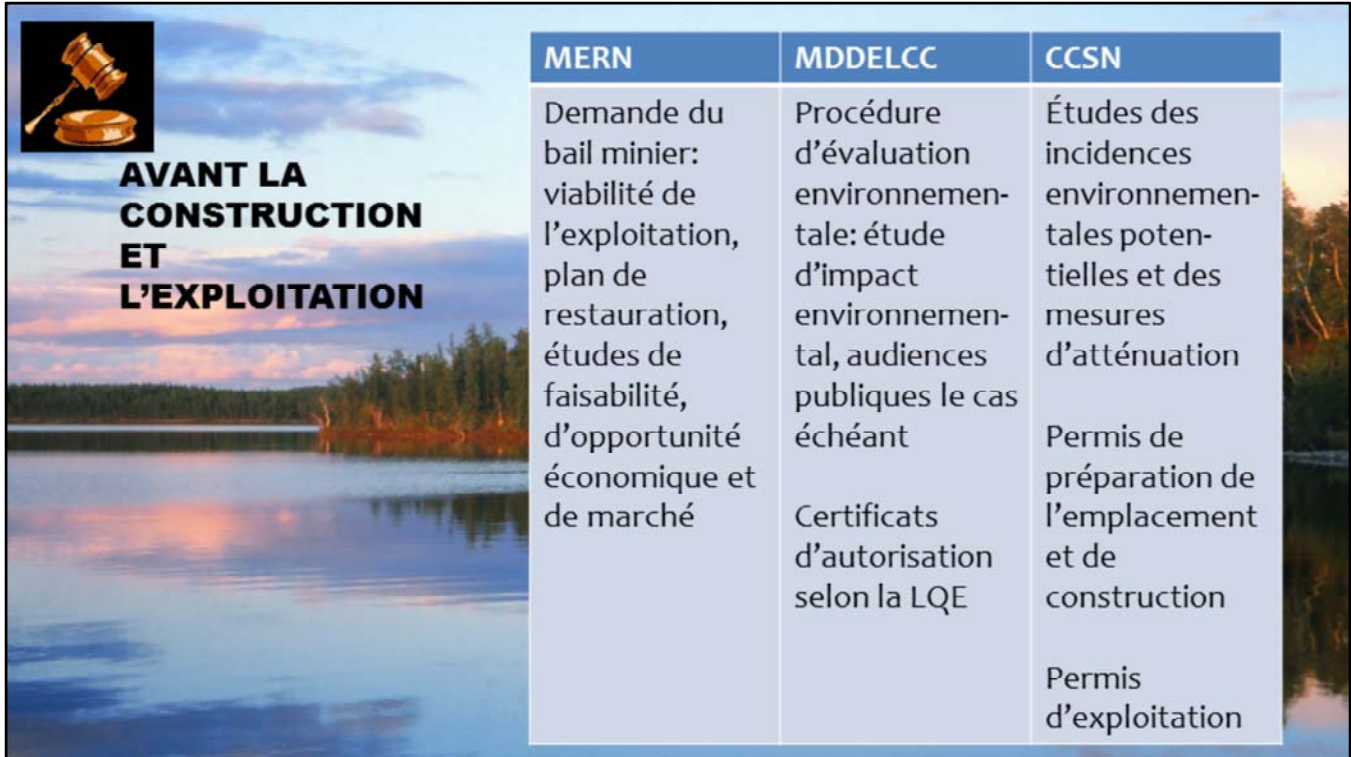
|                            | MERN   | MDDELCC   | CCSN                     |
|----------------------------|--|---|--------------------------|
| <b>Exploration</b>         | Acquisition du claim<br><br>Application réglementaire (ex: travaux forestiers) | Respect des lois et règlements<br><br>Autorisation si risque d'impact sur l'environnement |                          |
| <b>Exploration avancée</b> | Permis pour l'échantillonnage en vrac<br><br>Plan de restauration              | Respect des lois et règlements<br><br>Autorisation si risque d'impact sur l'environnement | Permis pour l'extraction |

L'acquisition d'un claim, le nom du titre minier spécifiquement requis pour l'exploration, est l'une des premières exigences pour qui souhaite évaluer le potentiel minéral d'un territoire donné. En tout temps, il faut agir dans le respect des lois et règlements qui régissent les activités sur le territoire québécois. Il y a par exemple des règles pour les travaux forestier ou la création d'un chemin d'accès, et des autorisations spécifiques sont parfois requises auprès des ministères.

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. Les bonnes pratiques en matière de santé et sécurité pour les travailleurs oeuvrant dans ce domaine sont cependant détaillées dans les lignes directrices *e3 Plus*, un cadre de référence d'application volontaire développé par l'Association des prospecteurs et entrepreneurs du Canada, connu aussi sous son acronyme anglais PDAC. .

La CCSN n'est pas impliquée avant le stade de l'exploration avancée, lorsque l'excavation de roches où la radioactivité dépasse un certain seuil est requis. L'organisme fédéral doit alors délivrer un permis pour l'extraction.

Au stade de l'exploration avancée, l'impact sur le territoire et l'environnement est plus grand. Le promoteur d'un tel projet doit avoir en main des permis et des autorisations des 3 ministères et organismes concernés avant d'aller de l'avant avec les travaux prévus. Un plan de restauration doit aussi être prévu.



| MERN  | MDDELCC  | CCSN  |
|---|--|---|
| Demande du bail minier: viabilité de l'exploitation, plan de restauration, études de faisabilité, d'opportunité économique et de marché | Procédure d'évaluation environnementale: étude d'impact environnemental, audiences publiques le cas échéant<br><br>Certificats d'autorisation selon la LQE | Études des incidences environnementales potentielles et des mesures d'atténuation<br><br>Permis de préparation de l'emplacement et de construction<br><br>Permis d'exploitation |

Avant de construire les différents bâtiments nécessaires sur un site d'exploitation minière et de procéder à celle-ci, le promoteur fait une demande pour un bail minier auprès du MRN. Pour faire cette demande, on doit démontrer la viabilité de l'exploitation, préparer un plan de restauration, réaliser des études de faisabilité, d'opportunité économique et de marché.

C'est aussi à ce moment qu'on procède à l'évaluation environnementale.

Partout sur le territoire du Québec les projets de mines d'uranium sont assujettis à cette procédure, dont les modalités peuvent cependant varier en fonction de la localisation du projet. Des audiences publiques peuvent avoir lieu dans le cadre de la procédure d'évaluation environnementale. Un certificat d'autorisation est émis par le MDDELCC si le projet rencontre les conditions établies par le Ministère.

Les infrastructures d'accès (route, pont, aéroport, port) et de logement, celles liées à l'eau (captage, distribution, traitement), la gestion des matières résiduelles et dangereuses, ainsi que la gestion des sols contaminés font également l'objet de contrôles stricts, et des permis ou d'autres types d'autorisation doivent être obtenus. Ceux-ci ne sont pas nécessairement spécifiques au monde minier; par exemple, pour l'entreposage et l'utilisation d'explosifs, un processus supervisé par la Sûreté du Québec est obligatoire. De même, ces permis et autorisations ne seront pas forcément sollicités au stade de la construction, mais peuvent être nécessaires tout au long du cycle minier.



La CCSN délivrera successivement 2 permis, soit un pour la préparation de l'emplacement et de construction, et un pour l'exploitation du minerai d'uranium. Les incidences environnementales potentielles seront prises en compte lors de l'examen préalable à la délivrance de ces permis.

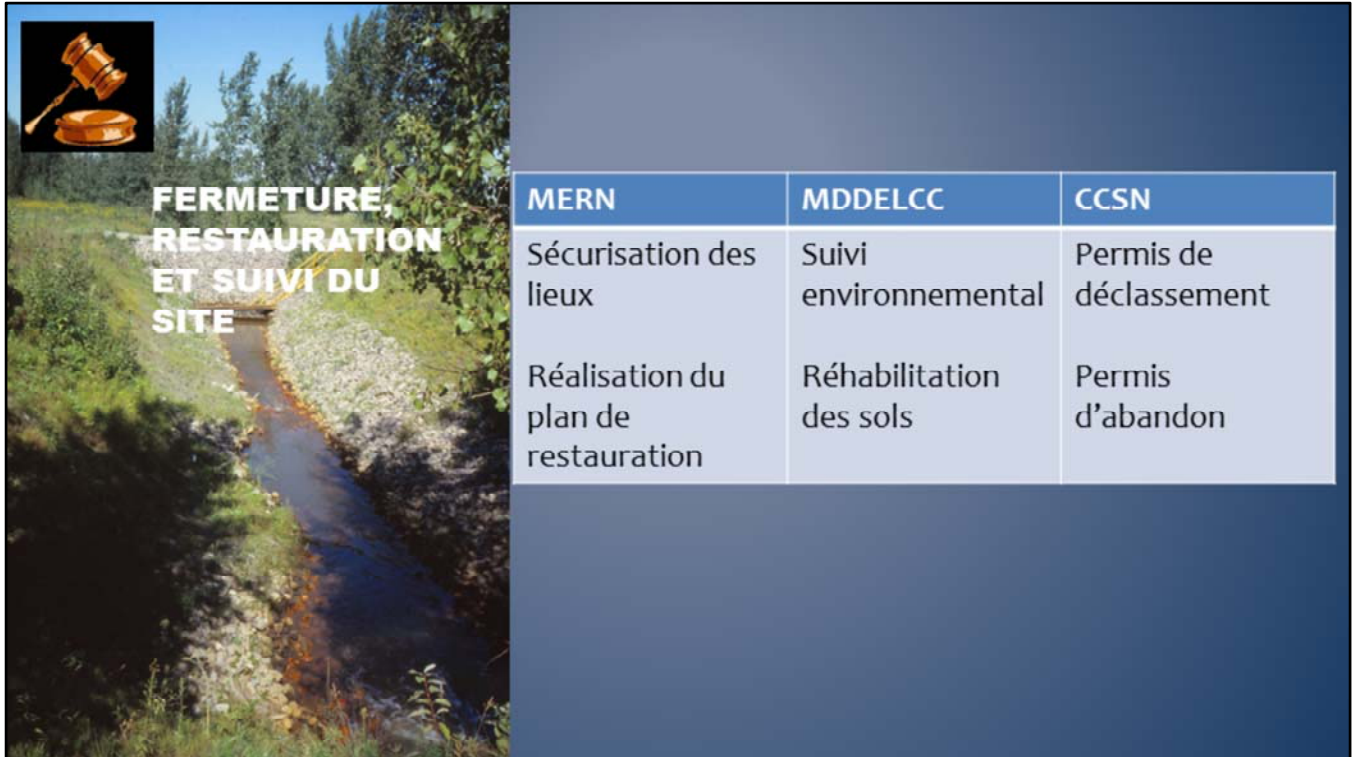


## AU STADE DE L'EXPLOITATION

| MERN                                | MDDELCC  | CCSN  |
|-------------------------------------|--|---|
| Mise à jour du plan de restauration | Demande d'attestation d'assainissement<br><br>Programme de suivi des impacts (respect des normes et conditions d'autorisation) | Mesures de contrôle (respect des règlements et des conditions établies dans les permis) |

Les dirigeants d'une mine doivent faire une demande d'attestation d'assainissement dès le début de son exploitation. Cette attestation regroupe toutes les exigences réglementaires et les exigences relatives à l'exploitation du site. Tout au long de l'exploitation, on devra assurer la mise à jour du plan de restauration déposé au MERN. Le suivi des impacts environnementaux est aussi enclenché.

La CCSN contrôle les activités de la mine afin que les règlements et les conditions établies dans les permis soient respectés.



**FERMETURE, RESTAURATION ET SUIVI DU SITE**

| MERN                                | MDDELCC                 | CCSN                   |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Sécurisation des lieux              | Suivi environnemental   | Permis de déclassement |
| Réalisation du plan de restauration | Réhabilitation des sols | Permis d'abandon       |

Lorsqu'une mine ferme pour une période de plus de 6 mois, le MERN doit être prévenu et les lieux sécurisés. Le suivi environnemental prévu pour l'exploitation doit être poursuivi jusqu'à ce qu'un programme de suivi post-exploitation ait été approuvé par le MDDELCC. Un «permis de déclassement» délivré par la CCSN est cependant nécessaire pour fermer une mine d'uranium.

La remise en état du site doit se faire selon les meilleures techniques connues. Des mesures sont prévues pour continuer la surveillance du site minier, particulièrement lorsque des contaminants sont encore sur place et qu'il y a un risque de drainage minier acide pouvant affecter l'environnement.

Les terrains affectés par les activités minières doivent donc être caractérisés et réhabilités selon les exigences du MDDELCC. À la fin des travaux, une attestation d'un expert, approuvée par le MDDELCC, devra être obtenue afin d'évaluer la conformité des travaux de réhabilitation réalisés.

Lorsque la surveillance à long terme confirme l'achèvement réussi du déclassement, un «permis d'abandon» pourra être octroyé au promoteur par la CCSN, ce qui met fin à la responsabilité du promoteur pour le site.

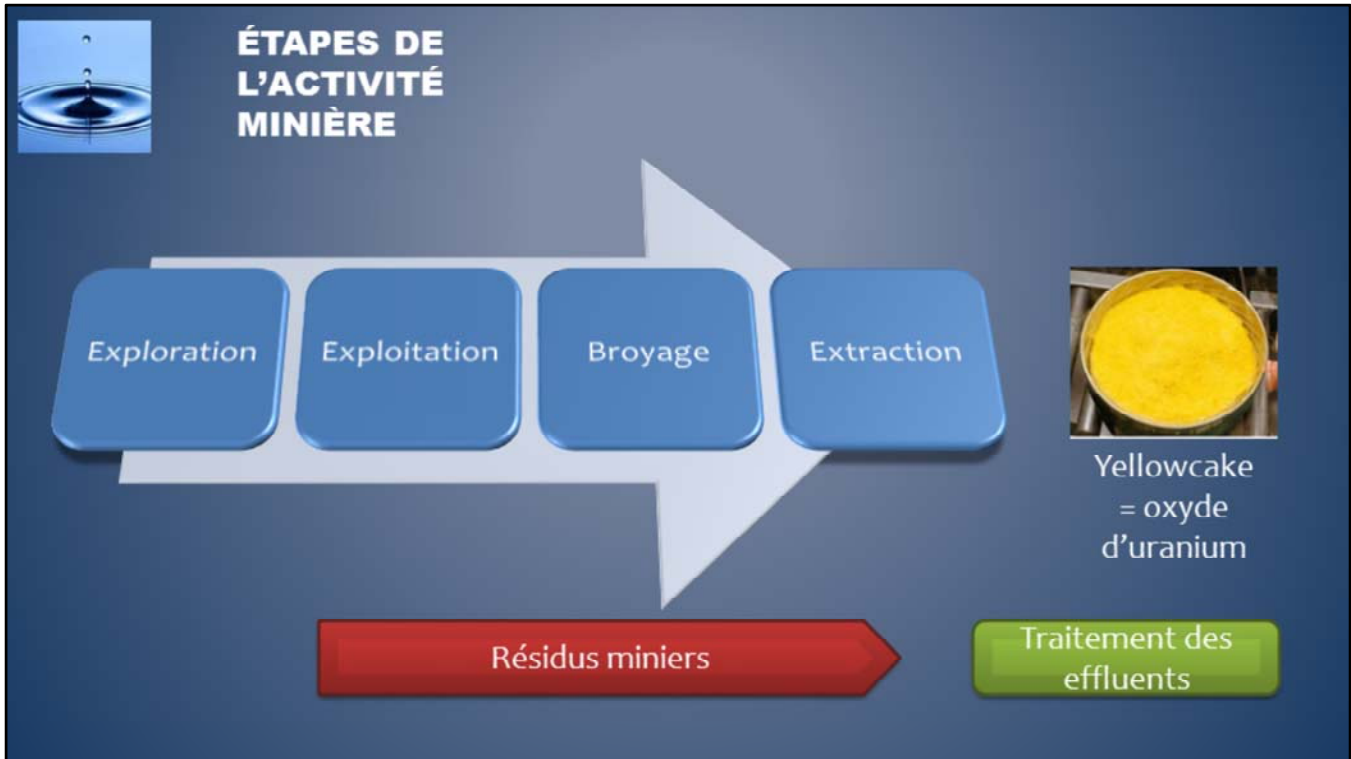
Le droit canadien reconnaît l'obligation de consulter les communautés autochtones lorsqu'un droit ancestral est établi ou revendiqué et qu'une activité pourrait avoir un effet préjudiciable sur ce droit. La prise en compte des droits et des intérêts des communautés

autochtones fera partie intégrante de la conciliation de l'activité minière avec les autres possibilités d'utilisation du territoire.

# IMPACTS POTENTIELS DE LA FILIÈRE URANIFÈRE AU QUÉBEC

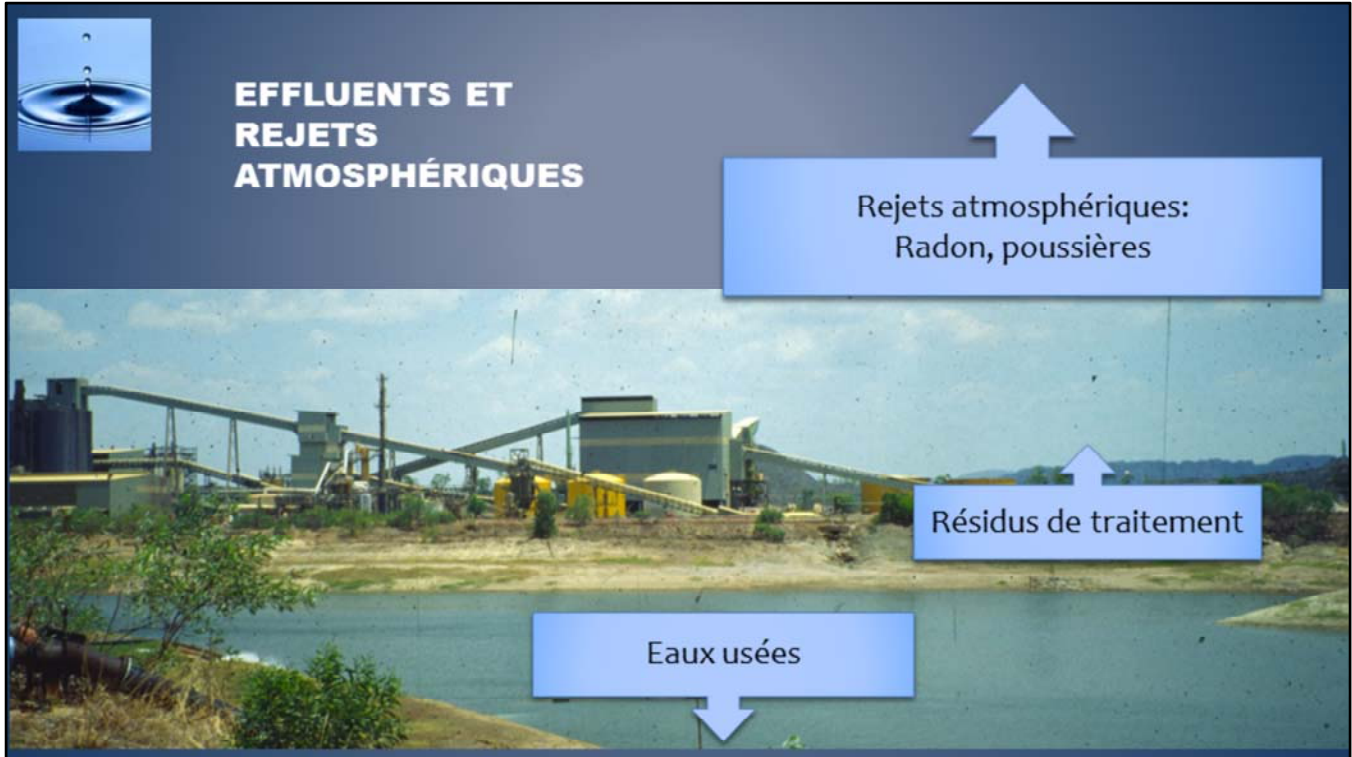


Quels sont les impacts potentiels d'une filière uranifère au Québec ?



Les travaux industriels comprennent plusieurs étapes:

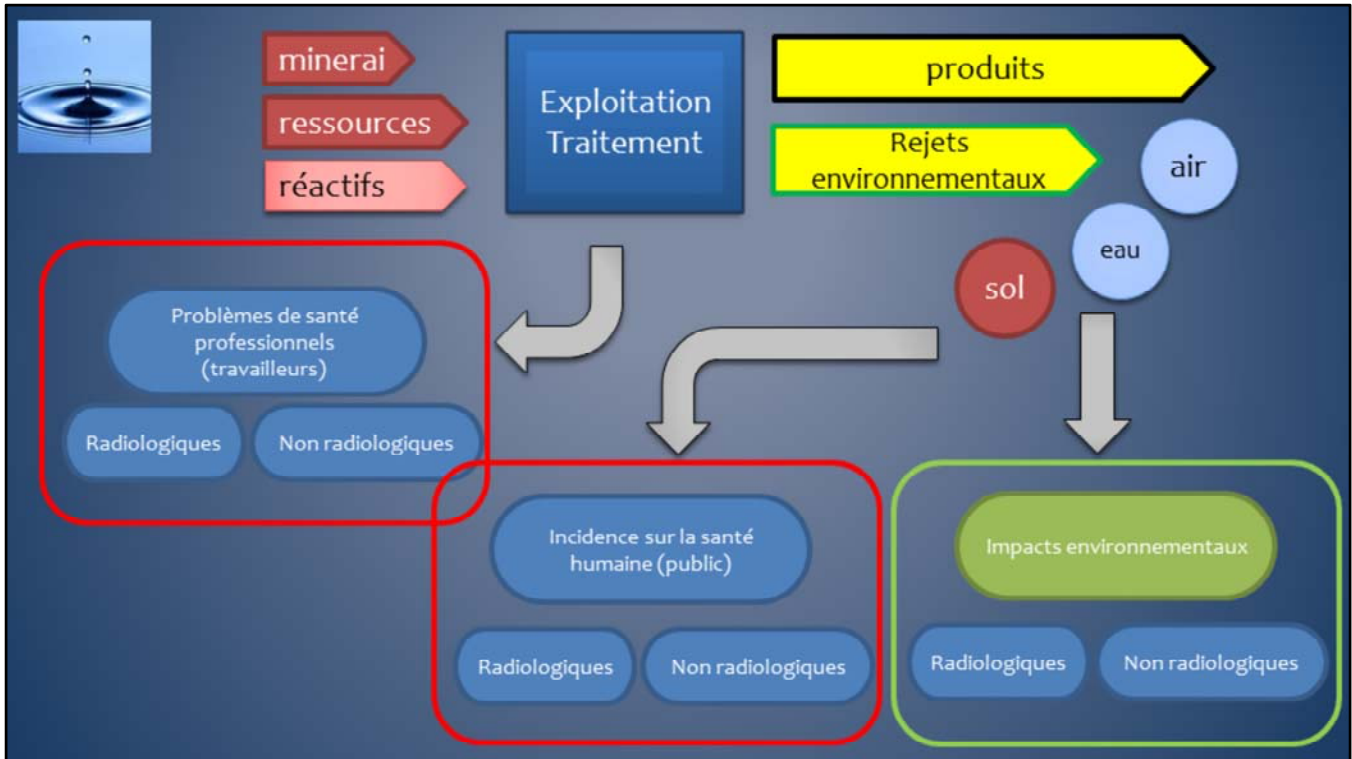
- l'exploration consiste à recherche de nouveaux gisements par des méthodes non intrusives comme la géophysique ou des travaux d'excavation ou de forages
- L'exploitation peut se faire sous-terre, en surface ou par lixiviation; elle produit des résidus miniers qui peuvent contenir un peu d'uranium mais pas assez pour en faire l'exploitation; certains doivent avoir un entreposage adapté
- Le minerai est ensuite broyé et les composés uranifères extraits dans une solution acide; ces procédés produisent des composés radioactifs qui doivent être gérés adéquatement



Les opérations minières produisent des effluents, des eaux usées qui sont d'abord entreposés dans des bassins de rétention afin d'être traités.

Des émissions atmosphériques ont lieu à chaque étape de l'exploitation et lors de l'entreposage des résidus, en particulier du radon, et des poussières qui peuvent se disperser dans l'environnement si des mesures appropriées ne sont pas prises.

Les résidus de traitements contiennent plus de 70% du matériel radioactif contenu dans le minerai original et émettent des rayons gamma et du radon.



L'exploitation et le traitement du minerai d'uranium génère à la fois des **produits** qui généreront des retombées économiques, mais également des **rejets** environnementaux qui pourront, dans certains cas, avoir des impacts environnementaux et sanitaires.

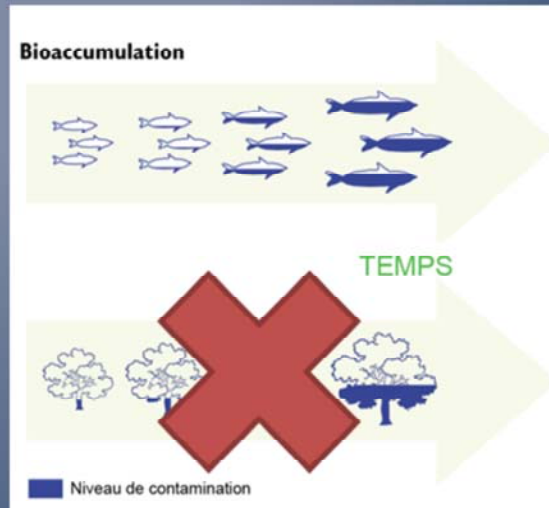
**Un mine d'uranium** est une exploitation minière comme les autres, avec ses impacts environnementaux et sanitaires potentiels. Mais il faut y ajouter une composante associée aux risques radiologiques.





- *Bioaccumulation*

## BIOACCUMULATION, TOXICITÉ



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, en fonction du temps. 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.

CLIC

Il peut cependant être accumulé par certains organismes marins, tels les crustacés.



## BIOACCUMULATION, TOXICITÉ

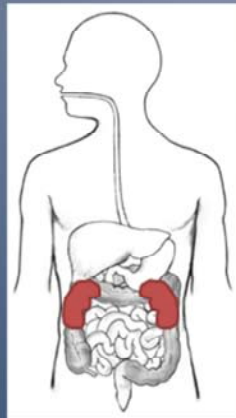
- Bioaccumulation
- Toxicité: inhalation ou ingestion

URANIUM

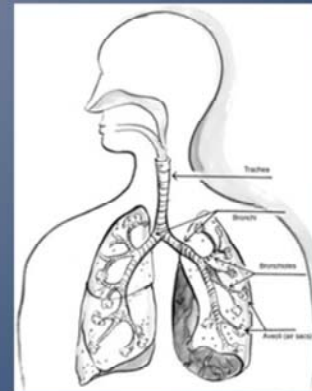
<5% traverse  
barrière gastro-  
intestinale  
→ reins

Le reste (>95%)  
est excrété

Ingestion



Inhalation



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. L'assimilation de l'uranium dans le corps est faible, soit généralement inférieure à 5 % de l'uranium ingéré. La majeure partie de l'uranium ingéré n'est donc pas absorbée et est évacuée principalement par l'urine, mais également par les excréments. Il est possible de déterminer si une personne est exposé à des teneurs élevées en uranium à l'aide d'analyses chimiques dans l'urine.

CLIC

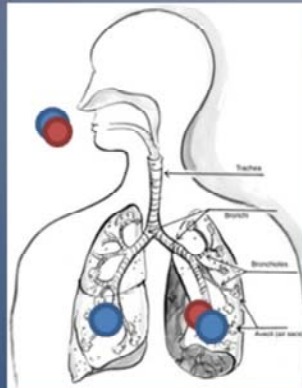
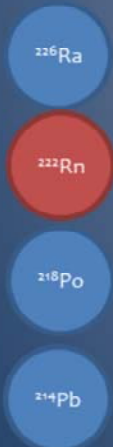
De la quantité qui est absorbée après avoir traversé la barrière intestinale, une part importante s'accumule dans le rein et pouvant résulter en des problèmes d'insuffisance rénale. Précisons que, les effets toxiques sont observés chez des animaux de laboratoire lorsque les quantités d'uranium, administrées quotidiennement, sont approximativement 5000 fois supérieures aux quantités maximales journalières ingérées par la population canadienne moyenne.



## BIOACCUMULATION, TOXICITÉ

- Bioaccumulation
- Toxicité: inhalation ou ingestion
- Inhalation des descendants radioactifs

EXEMPLES DE DESCENDANTS  
RADIOACTIFS DE L'URANIUM



Inhalation



Risque de développer un  
Cancer du poumon

L'exploitation souterraine de l'uranium mène à la concentration en surface de certains de ses descendants plus radioactifs, comme le radium-226. Chez les travailleurs de l'industrie uranifère, l'inhalation de particules en suspension est la voie la plus fréquente d'absorption de radionucléides.

CLIC

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.

CLIC

Les particules radioactives non solubles peuvent par contre rester dans les poumons pendant de longues périodes et transmettre des doses de rayonnement plus importantes aux tissus pulmonaires.

CLIC

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 inhalé qui ne s'est pas désintégré à l'intérieur des poumons est expulsé lors de l'exhalation.

CLIC

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.

CLIC

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 peut diminuer l'espérance de vie.

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

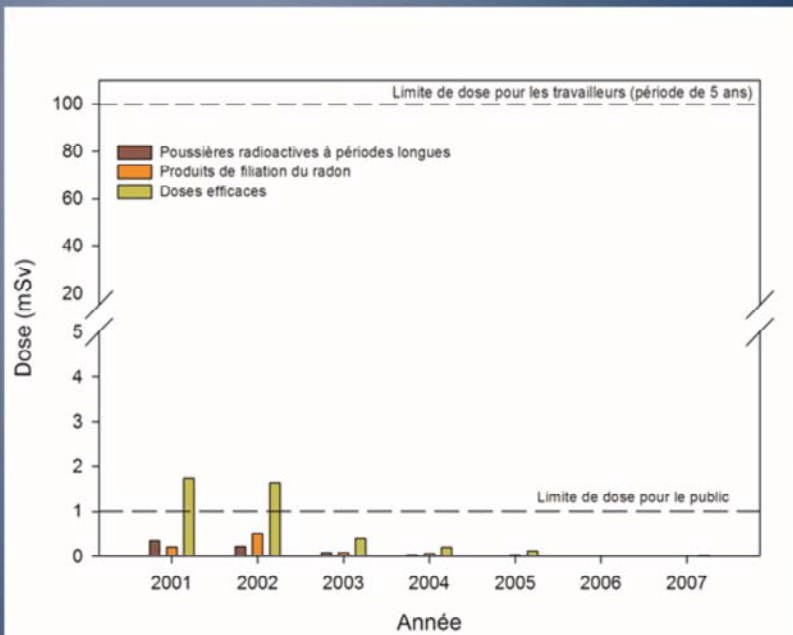


Mesure de protection de l'environnement pour la filière uranifère



## PRÉVENTION ET ATTÉNUATION

Suivi de la mine de Cluff  
Lake (SK) par la CCSN



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

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.

En fonction du projet industriel, un programme de suivi environnemental devra réduire le risque de contamination potentielle et limiter les impacts environnementaux. On contrôlera ainsi la qualité des eaux de surface et souterraines et pour prévenir l'accumulation de radionucléides chez les organismes vivants

CLIC

Donnons un exemple: La mine de Cluff Lake en Saskatchewan, a été exploitée pendant plus de 20 ans, jusqu'à sa fermeture en 2002. Son suivi environnemental par la CCSN montre que les poussières radioactives et le radon diminuent considérablement après l'arrêt des opérations minières en 2002, pour devenir négligeables à partir de 2006. Cela se traduit par une diminution de la dose efficace.



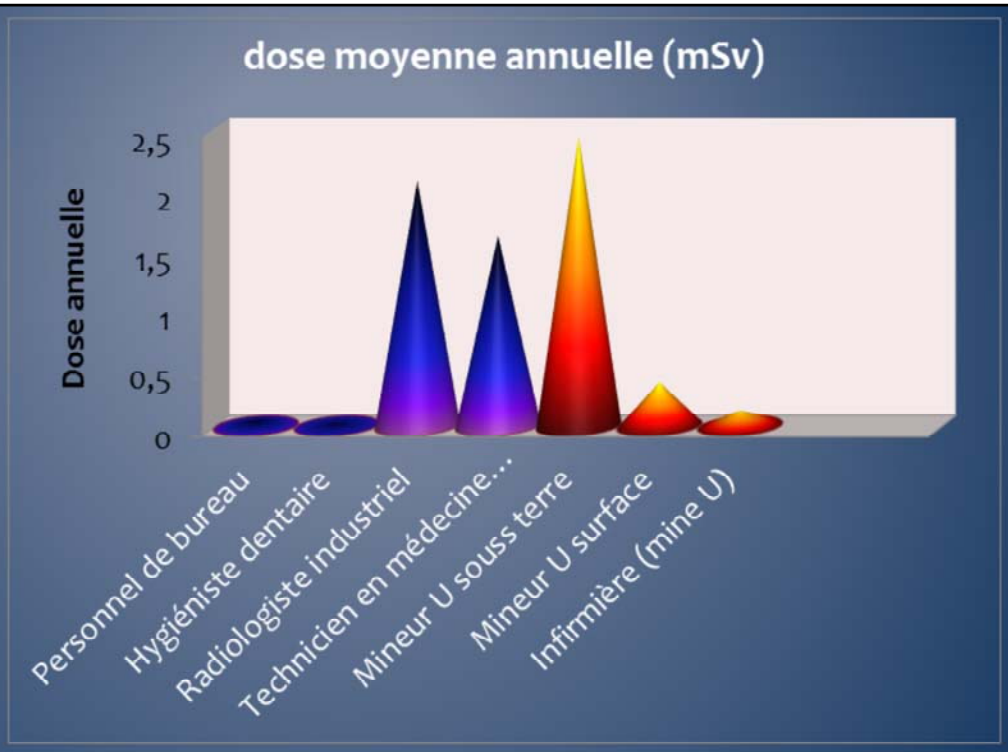
La radioactivité mesurée sur les sites miniers est variable d'un site à l'autre et dépend de facteurs tels que la composition chimique du minerai.

Sur ce diagramme, les débits de dose observés à divers endroits dans le monde ainsi que la dose efficace associée à certaines activités humaines et médicales.

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.



## RISQUES D'IMPACTS CHEZ LES POPULATIONS EXPOSÉES



Le diagramme suivant présente les doses annuelles moyennes pour diverses classes d'emplois. On observe que bien que les travailleurs de mines d'uranium sont soumis à des doses annuelles variant entre 0,13 et 2,43 milli-Sievert par an selon le type d'emploi, d'autres travailleurs sont également exposés à du rayonnement ionisant en milieu industriel et hospitaliers. Afin de déterminer la dose reçue, les travailleurs portent des dosimètres qui permettent de quantifier l'exposition à la radiation ionisante.

À titre d'exemple, la CCSN prévoit qu'environ 24 000 personnes seront employées 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 mineur pourrait développer un cancer du poumon suite à une exposition au radon en milieu de travail.





## RISQUES D'IMPACTS CHEZ LES POPULATIONS LOCALES

- 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 ne représente qu'au plus 10 % de la dose totale acceptable pour la population.



Puisque l'intensité des radiations diminue de façon exponentielle avec la distance par rapport à la source, les populations locales sont généralement moins exposés que les travailleurs. 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 milli-sievert par an) de la dose totale acceptable pour la population, soit un milli-sievert par an.

CLIC

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.

CLIC

Pour l'eau potable, les concentrations en uranium doivent être égales ou inférieures à la concentration maximale recommandée au Canada, qui est de 20 microgramme par litre. À titre de comparaison, les eaux de surface présentent généralement une concentration en uranium inférieure à 1 microgramme par litre.

CLIC

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 kilogramme de sol, alors que la concentration maximale permise pour les sols industriels est de 10 fois supérieure (300 mg d'uranium par kilogramme de sol). Ces valeurs devraient servir de barèmes lors de la

restauration de sites miniers.

Dans son rapport intitulé « les impacts sanitaires en lien avec les projets uranifères nord-côtiers » publié le 25 avril dernier, l'institut national de santé publique stipule qu' « En résumé, les résultats des analyses effectuées ne permettent pas d'affirmer que le fait de résider à proximité d'une mine d'uranium entraîne des problèmes de santé. Il faut toutefois noter qu'à l'exception des décès par quelques types de cancer, les données disponibles ne permettent pas de conclure et que d'autres recherches sont nécessaires.»

# CONCLUSIONS

- *Il existe un fort potentiel pour des gites d'uranium au Québec*
  - *L'impact environnemental dépend du type de minéralisation uranifère*
- *Les impacts sont*
  - *Faibles au stade de l'exploration*
  - *Plus importants durant l'exploitation et la restauration*
- *Ces impacts sont gérables en respectant les lois et règlements du Québec et du Canada qui imposent de prévenir de la dispersion de l'uranium et de ses descendants par les poussières, les effluents, et le radon.*



En conclusion,

- Il existe un fort potentiel pour des gites d'uranium au Québec pour lesquels l'impact environnemental dépendra du type de minéralisation uranifère, donc de la teneur et du mode d'exploitation.
- Les impacts sont caractérisés comme faibles au stade de l'exploration et plus importants durant l'exploitation et la restauration
- Ces impacts sont gérables en respectant les lois et règlements du Québec et du Canada qui imposent de prévenir de la dispersion de l'uranium et de ses descendants par les poussières, les effluents, et le radon.

# RECOMMANDATIONS



Mesurer



Partager et consulter



Utiliser les meilleures pratiques



- A l'issue de cet état des connaissances, des impacts et les mesures d'atténuation en relation avec l'exploration et de l'exploitation de l'uranium sur le territoire québécois, trois aspects nous semblent importants
- CLIC
- MESURER, mieux établir la distribution actuelle de l'uranium, de la radioactivité, du radon, dans notre environnement, approfondir les recherches sur les impacts
- CLIC
- PARTAGER l'information et CONSULTER les populations: la filière de l'uranium est mal connue au Québec. Il faut mieux partager la connaissance, encourager sa diffusion, encourager la consultation
- CLIC
- UTILISER LES MEILLEURES PRATIQUES, à tous les stades, de l'exploration au développement, de l'exploitation à la

restauration complète des sites.



Crédit des illustrations:  
Wikipédia, M. Jébrak

- *Ont participé à la rédaction du rapport, dans l'ordre alphabétique:*
- **Georges Beaudoin**, géologue, Ph.D., Université Laval
- **Kristina Maud Bergeron**, Ph.D., Chaire en entrepreneuriat minier UQAT-UQAM, UQAM
- **Michel Jébrak**, géologue, D.Sc., UQAM
- **Julia King**, M.Sc. Université Laval
- **Dominic Larivière**, chimiste, Ph.D., Université Laval
- **Annie Michaud**, chimiste, M.Sc., Université Laval
- **Pierre-Alain Wülser**, Ph.D., UQAM



Merci de votre attention.