

Le rayonnement est invisible

mais doit-on cacher aussi les faits?

une critique de l'ÉIE de Strateco (octobre 2009)

portant sur le

**Projet d'exploration souterraine
de la propriété Matoush**

présentée par Gordon Edwards, Ph.D.

à Mistissini, Québec

le 23 novembre 2010

Résumé

Étant donné la nature particulière du projet, l'étude d'impact doit dépeindre, dans une mesure appropriée, les spécificités des impacts environnementaux associés à l'exploitation d'une mine uranifère et exposer les impacts des phases ultérieures du projet de mise en production d'une mine d'uranium.

Directives

Les quatre volumes de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) du projet d'exploration uranifère Matoush, publiés par Strateco Resources Inc. en octobre 2009, ne satisfont pas aux exigences fondamentales des directives en ce qui a trait à la communication de renseignements aux communautés sur les concepts de base de la radioactivité du projet et les questions environnementales pertinentes. En outre, les auteurs n'expliquent pas ouvertement la raison d'être du projet.

La première partie de la présente critique porte sur l'échec absolu du promoteur à énoncer les faits essentiels sur les matières radioactives et l'exposition à ces matières, tel que l'exigeaient les directives. Les données recueillies peuvent revêtir une utilité certaine pour la planification ultérieure, mais l'EIE en tant que telle est totalement inacceptable, car elle ne tente même pas de satisfaire aux directives en ce qui a trait à la radioactivité.

Une attention particulière doit être donnée aux éléments du projet associés à la radioactivité [...]

Étant donné la nature particulière du projet, l'étude d'impact doit présenter les aspects liés à la radioactivité qui distinguent ce projet des autres types d'activités minières.

Directives

Résumé

Le promoteur devrait porter une attention particulière à la problématique de traitement de certains éléments qui pourraient être associés à l'uranium selon la minéralogie et les antécédents d'exploitations uranifères connues [...]

Directives

Les termes techniques de base tels que radioactivité, désintégration radioactive, rayonnement ionisant, becquerel, demi-vie, produit de désintégration, chaîne de désintégration, équilibre séculaire, particule alpha, particule bêta, rayon gamma, isotope et radionucléide ne sont ni définis ni expliqués, et pratiquement jamais mentionnés, s'ils le sont.

L'emploi de ces termes et concepts est à ce point confus qu'on peut se demander si les auteurs ignorent de quoi ils parlent, s'ils sont tout simplement incapables de communiquer les faits correctement ou s'ils sont réticents à le faire. Quoi qu'il en soit, ces erreurs et omissions n'inspirent pas la confiance et invalident l'EIE, qui est profondément non conforme. De même, les concepts essentiels de la radiobiologie tels que carcinogénèse des radiations, dose de rayonnement, dose équivalente, efficacité biologique relative (EBR), organe cible, période de latence, effets stochastiques et non stochastiques, dommage génétique causé par la radiation, et modèle nucléaire sans seuil ne figurent pas plus dans l'EIE.

Il en va de même pour des concepts radioécologiques hautement pertinents tels que la bioconcentration, notamment dans le contexte

Résumé

de la chaîne alimentaire « lichen → caribou → humain », pour expliquer la présence de plomb 210 et de polonium 210 dans le corps des chasseurs.

L'EIE fait abstraction des faits essentiels concernant les 37 matières radioactives présentes dans le corps minéralisé, dont le cheminement probable de ces contaminants radioactifs dans l'environnement, la chaîne alimentaire et le corps humain, malgré le fait que ces matières représenteront probablement une menace pour l'environnement et la santé humaine pendant longtemps –essentiellement pour toujours –, des centaines de milliers d'années après la fin des activités d'exploitation.

Le danger à long terme que posent les résidus d'usine de concentration d'uranium – les résidus de traitement – est particulièrement grand durant la période qui suit la fermeture, lorsque les résidus sont abandonnés par le promoteur. À partir de ce moment, ce seront les collectivités environnantes et les gouvernements fédéral et provinciaux qui auront la tâche d'empêcher des millions de tonnes de sable radioactif de contaminer l'environnement. Mais les efforts d'entretien et de décontamination ne rapporteront rien, c'est pourquoi les ressources consacrées à cette tâche pourraient être extrêmement limitées.

Cet enjeu à long terme est particulièrement important puisque les monts Otish occupent non seulement le centre géographique de la province, mais aussi son centre hydrologique. Il y a tant de cours d'eau qui traversent cette région de part et d'autre qu'il sera aisé pour les matières radioactives de contaminer de grandes zones terrestres. Les monts Otish représentent

Résumé

donc le pire endroit pour installer des réservoirs renfermant des millions de tonnes de sable radiotoxique finement concassé.

La deuxième partie de la critique porte sur la raison d'être du projet. Dans la description des usages de l'uranium, le promoteur ne mentionne pas que l'uranium sert non seulement à produire des armes nucléaires, mais qu'il s'agit d'une composante absolument essentielle de tout programme d'armes nucléaires.

Par comparaison, les usages non militaires de l'uranium ne sont pas essentiels. Il y a bien d'autres façons de produire de l'électricité, et des techniques comme les cyclotrons ou les accélérateurs linéaires permettent de fabriquer des isotopes médicaux sans uranium. Et l'irradiation des aliments ne fait pas appel à l'uranium.

Mais sans uranium, il n'y a pas d'arme nucléaire. En effet, il n'existe que deux matières nucléaires explosives : l'uranium hautement enrichi (UHE) et le plutonium. Ce dernier n'existe pas à l'état naturel; il est produit par l'homme à partir de l'uranium 238 que l'on retrouve dans tous les réacteurs nucléaires.

Dans ses explications à propos de la controverse entourant l'énergie nucléaire et l'exploitation de mines uranifère, le promoteur ne mentionne pas le plutonium, même s'il avance la possibilité de recycler le combustible utilisé comme source d'énergie supplémentaire. En réalité, recycler le combustible utilisé implique toujours l'extraction de

Résumé

plutonium, et ce plutonium est utilisable pendant les 50 000 années suivantes pour fabriquer des bombes atomiques.

En août 2010, l'Association internationale des médecins pour la prévention de la guerre nucléaire (lauréats du prix Nobel de la paix en 1985) a demandé que l'on interdise les activités d'exploitation uranifères partout dans le monde. Elle a invoqué, entre autres que même si l'uranium peut être utilisé à des fins pacifiques, les résidus radioactifs (comme le plutonium) peuvent toujours servir à fabriquer des armes nucléaires, et ce, des milliers d'années après la fin des activités d'exploitation minière et la fermeture du dernier réacteur nucléaire.

Le promoteur passe outre aux nombreuses études récentes qui ont démontré que la renaissance du nucléaire n'a pas lieu. Par exemple, un peu plus tôt cette année, le gouvernement d'Allemagne a demandé à l'institut Prognos, en Suisse, de se pencher sur la question. Il a conclu que la renaissance mondiale du nucléaire, si souvent annoncée, ne se produirait pas avant quelques décennies. L'énergie nucléaire déclinera jusqu'en 2030, et son importance décroîtra à l'échelle mondiale.

Ce constat est important, parce que la rentabilité de l'exploitation de mines uranifères dépend de la croissance de l'industrie nucléaire. Déjà, le prix de l'uranium est en baisse, tout comme l'apport de l'énergie nucléaire. On ne peut donc dissocier la raison d'être du projet Matoush du contexte mondial dans lequel évolue le programme d'énergie nucléaire.

Table des matières

Résumé	i
Communication et consultation : obligation?	1
Communication et consultation : résultat?	1
Question 1 : Qu'est-ce que le rayonnement atomique et la radioactivité?	2
Question 2 : Qu'est-ce qu'un becquerel? Qu'entend-on par désintégration?	2
Question 3 : Qu'entend-on par demi-vie d'un élément radioactif?	3
Question 4 : Qu'est-ce qu'un produit de désintégration?	
Qu'est-ce qu'une famille radioactive?	4
Question 5 : Qu'est-ce qu'un radionucléide ou un isotope?	6
Question 6 : Qu'entend-on par « chaîne de désintégration » de l'uranium?	7
Famille de l'uranium 238	8
Famille de l'uranium 235	9
Famille du thorium 232	10
Question 7 : Qu'entend-on par « équilibre radioactif »?	13
Tableau 3.4 et la famille de l'uranium 238	16
Tableau 3.4 et la famille de l'uranium 235	17
Tableau 3.4 et la famille du thorium 232	18
Question 8 : Comment la <i>Directive 019</i> du Québec est-elle appliquée?	19
Question 9 : Les matières radioactives sont-elles cancérigènes?	21
Question 10 : Le radon est-il responsable de décès de mineurs?	23
Question 11 : La réglementation en matière d'exploitation minière rend-elle l'exposition au radon sécuritaire?	24
Question 12 : Y a-t-il un niveau sécuritaire d'exposition au rayonnement atomique?	27

Communication et consultation : obligation ?

Commençons par la section 1.3, Communication et consultation.

Selon cette directive pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du projet Matoush, le promoteur a l'obligation d'expliquer les faits essentiels sur les matières radioactives ainsi que les risques qui y sont associés dans des termes pouvant être compris par la population susceptible d'être touchée par le projet.

Ces renseignements sur la « radioactivité et l'environnement » devraient être bien compris par les « élus, groupes, organisations, utilisateurs du territoire et population en général » pour leur permettre d'envisager les dangers éventuels et d'exprimer leurs préoccupations. La communication doit donc être « adaptée au contexte culturel et social » de la collectivité.

Les faits essentiels sur la radioactivité et les matières radioactives doivent être présentés à ce stade-ci du projet, de sorte qu'on puisse envisager avec précision les risques pour la santé humaine et l'environnement associés à la phase d'exploitation qui suivra la phase d'exploration, et pour que l'on puisse répondre aux préoccupations exprimées par la collectivité sur toutes les phases du projet, depuis l'exploration jusqu'à l'extraction et par la suite. Le promoteur doit « distinguer clairement les risques associés aux deux phases ».

Communication et consultation : résultat ?

Dans son étude d'impact sur l'environnement d'octobre 2009, quatre volumes totalisant plus de 3 800 pages, le promoteur manque à son obligation fondamentale de communiquer les faits essentiels sur la radioactivité et les matières radioactives à la collectivité.

Le Comité devrait donc rejeter l'ÉIE parce qu'elle est inadéquate et inacceptable et ne satisfait pas aux critères premiers des directives. L'ÉIE ne fournit à la collectivité aucune information précise sur le phénomène de la radioactivité, ne serait-ce que définir le vocabulaire de base. Ce n'est pas tant que l'ÉIE renferme des questions sans réponses, mais elle fournit des réponses à des questions qui n'ont jamais été posées!

Question 1 : Qu'est-ce que le rayonnement atomique et la radioactivité?

Cette question n'a été posée qu'une seule fois, par une femme crie. Elle est citée à la page 427 du volume 4, mais le promoteur n'y répond pas. Nulle part. Il se limite à dire : « Nous sommes tous exposés au rayonnement ». [traduction] [Remarque : les numéros de page sont ceux de la version pdf anglaise de l'ÉIE.]

Question 2 : Qu'est-ce qu'un becquerel? Qu'entend-on par désintégration?

Le becquerel est l'unité physique fondamentale de la radioactivité. Il correspond à une désintégration atomique par seconde.

Une matière radioactive est formée d'atomes instables. La plupart des atomes sont éternels et non modifiables; ils se combinent de différentes façons à d'autres atomes. C'est ce qui se produit avec les matières non radioactives.

Mais une matière radioactive se compose d'atomes instables. Un atome instable, ou radioactif, se désintègre très soudainement, de façon imprévisible, violente et énergique.

L'énergie dégagée par la désintégration atomique est appelée « rayonnement atomique ». C'est précisément au moment de la désintégration atomique que peuvent survenir les dommages biologiques responsables des cancers, leucémies et autres maladies qui peuvent survenir ultérieurement ou affecter la fonction reproductrice d'une personne exposée.

Pourtant, même s'ils expriment les valeurs en becquerels par gramme (Bq/g) et en becquerels par litre (Bq/l) dans plusieurs tableaux et figures du volume 3 de l'ÉIE, jamais les auteurs ne définissent le terme becquerel. [Bq est l'abréviation du mot « becquerel ».] Ils ne décrivent pas non plus le concept de la désintégration radioactive dans aucun des quatre volumes - le mot « désintégration » n'est en fait jamais utilisé.

La désintégration radioactive est la propriété qui distingue les matières radioactives des matières non radioactives. On ne peut donc comprendre ce qu'est le rayonnement atomique, la radioactivité ou une matière radioactive et les risques qui y sont associés si on ignore ce qu'est la désintégration atomique.

Une recherche sur le mot « becquerel » a permis de constater qu'il n'est pas employé dans les volumes 1 et 4. On l'emploie à deux reprises dans le volume 2, mais seulement dans le contexte juridique confus de la *Directive 019* du gouvernement du Québec sur les matières radioactives. Le mot revient 13 fois dans le volume 4, mais seulement dans les tableaux (11 occurrences de Bq/l et deux de Bq/l).

Question 3 : Qu'entend-on par demi-vie d'un élément radioactif?

Que signifie demi-vie et pourquoi ce concept est-il utile et important?
À la lecture de l'ÉIE, impossible de le savoir.

La demi-vie d'un élément radioactif est le temps qui doit s'écouler pour que la moitié de ses atomes se désintègrent. Par exemple, le radon a une demi-vie de près de 4 jours, tandis que celle du radium est de 1 600 ans

Ainsi, si l'on place un gramme de radon dans un contenant hermétique, après quatre jours, il devrait rester environ un demi-gramme de radon et un demi-gramme d'autres matières de transformation. Quatre jours plus tard, il restera un quart de gramme de radon et trois quarts de gramme d'autres matières. Tous les quatre jours, la quantité de radon diminue de moitié.

Il faudrait attendre longtemps pour que la quantité de radon diminue d'un facteur de 1000 : 10 demi-vies ou 40 jours. Après 40 jours, il resterait environ un milligramme de radon et 999 milligrammes d'autres matières.

La même logique s'applique à tout autre élément radioactif. Si l'on place un gramme de radium dans un contenant hermétique, après 1 600 ans, il y aura un demi-gramme de radium et un demi-gramme d'autres matières de transformation. Après un autre intervalle de 1 600 ans, il restera un quart de gramme de radium.

Il faudra attendre longtemps pour que la quantité de radium diminue d'un facteur de 1000 : 10 demi-vies ou 16 000 ans. Après 16 000 ans, il y aura environ un milligramme de radium et 999 milligrammes d'autres matières dans le contenant.

Le terme « demi-vie » n'est utilisé dans aucun des volumes 1, 3 et 4, et il n'est employé qu'une seule fois dans le volume 2, à la page 46, mais dans un sens incorrect. À la page 46 du volume 2, tous les produits de désintégration radioactive de l'uranium ayant une demi-vie de 9 jours ou plus devraient être énumérés. Pourtant, la liste renferme plusieurs matières ayant une demi-vie beaucoup plus courte et exclut d'autres matières à demi-vie beaucoup plus longue. De plus, il est très difficile de distinguer parmi les matières énumérées celles qui sont réellement des produits de désintégration radioactive de l'uranium. Nous traiterons de cet amalgame hétéroclite illogique un peu plus loin.

Pour le moment, les termes employés à la page 46 du volume 2 nous amènent à un autre concept fondamental jamais défini ou expliqué dans l'ÉIE : le produit de désintégration.

**Question 4 : Qu'est-ce qu'un produit de désintégration?
Qu'est-ce qu'une famille radioactive?**

Un atome qui subit une « désintégration » se transforme spontanément. C'est un peu comme une explosion invisible, très puissante et énergétique qui survient au niveau de l'atome et projette un rayonnement atomique – un genre d'« éclat d'obus » subatomique qui peut atteindre les atomes, molécules et cellules vivantes environnantes.

(Un éclat d'obus est un morceau de métal qui est propulsé par l'explosion d'une bombe; les éclats d'obus peuvent blesser grièvement une personne à proximité. Cette notion est utilisée ici uniquement aux fins de comparaison avec les particules d'atomes propulsées par la désintégration atomique.)

Lorsqu'un atome radioactif se désintègre, il ne disparaît pas; il se transforme en un nouvel atome fondamentalement différent.

Par exemple, un atome de radon qui se désintègre devient un atome de polonium. Le radon est un gaz radioactif tandis que le polonium est un solide radioactif. Ce sont des matières tout à fait différentes! Chimiquement parlant, le radon ne se combine à aucun autre élément, mais le polonium peut le faire avec plusieurs éléments. Les deux matières se comportent de manière très différente dans le corps et dans l'environnement! On dit du polonium qu'il est un « produit de désintégration » du radon parce qu'il doit son existence à la désintégration graduelle (radioactive) d'atomes de radon.

De même, la désintégration d'un atome de radium produit un atome de radon. Le radium, un métal lourd radioactif (et donc beaucoup plus dangereux que tout autre métal lourd non radioactif), se transforme graduellement en gaz radioactif! Ainsi, chaque atome de radon est issu d'un atome de radium; le radon est donc un produit de désintégration du radium.

Cette information est très importante parce qu'on apprend ainsi que s'il y a contamination au radium, du radon sera produit (à moins d'une forte ventilation qui permettrait d'évacuer le gaz). Et sachant qu'il y a du radon, on peut déduire que du polonium suivra. Le polonium est extrêmement dangereux; c'est l'élément le plus toxique présent dans la nature.

On sait maintenant que le radium se désintègre en radon et le radon, en polonium. Par analogie, on pourrait qualifier ces éléments respectifs de mère, fille et petite-fille, soit une « famille » ou « série » radioactive. Et cela ne s'arrête pas là, car le polonium est radioactif lui aussi : il se désintègre en bismuth radioactif, lequel se désintègre à son tour en plomb radioactif, etc., élargissant ainsi la famille ou série radioactive.

Auparavant, on qualifiait de « filiation » les produits de désintégration. Par exemple, on pouvait parler des « produits de filiation du radon » pour en désigner tous les produits de désintégration (le radon compte sept produits de désintégration). De nos jours, cette expression a été abandonnée, parce qu'elle était considérée comme offensante pour les femmes (les produits de « filiation » du radon étant très mauvais et dangereux). On parle plutôt de « descendance » d'un élément radioactif donné.

En cherchant dans les quatre volumes de l'ÉIE, on constate que le mot « désintégration » (radioactive) n'est jamais mentionné dans les volumes 1 et 3, et est employé une seule fois dans le volume 2 (à la page 46, mais dans un mauvais contexte). Le mot revient trois fois dans le volume 4 (pages 15, 158 et 171), mais n'est défini ou expliqué d'aucune façon.

Pour les quatre occurrences du mot « désintégration » dans le contexte de la radioactivité dans les 1 865 pages de l'ÉIE, il n'est utilisé que dans sa forme adjectivale (une fois dans « produit de désintégration », trois fois dans « série de désintégration »). Le processus proprement dit n'est jamais décrit, et on ne mentionne pas que les dommages biologiques causés par le rayonnement atomique se produisent à l'instant même de la désintégration.

Question 5 : Qu'est-ce qu'un radionucléide ou un isotope?

L'ÉIE ne définit ni n'explique ce qu'est un isotope ou un radionucléide, bien que les deux termes soient utilisés dans le document.

À l'état naturel, l'uranium réunit trois types d'atomes différents : l'uranium 238, l'uranium 235 et l'uranium 234. Dans la nomenclature, on désigne ces atomes ${}_{238}\text{U}$, ${}_{235}\text{U}$ et ${}_{234}\text{U}$. Du point de vue chimique, ces trois types d'uranium se comportent de la même façon; ce sont des triplets identiques. Toutefois, ils ont des propriétés radioactives complètement différentes. Par exemple, tous n'ont pas la même demi-vie et ils ont des produits de désintégration distincts.

Les différents types d'un même élément chimique sont appelés « isotopes »; s'ils sont radioactifs (comme dans le cas de l'uranium), ce sont des « radio-isotopes » ou « radionucléides ». La plupart des matières radioactives ont différents isotopes (les matières non radioactives peuvent elles aussi avoir différents isotopes).

On désigne les isotopes d'un élément chimique en rattachant un chiffre au symbole de l'élément en question. Ce chiffre représente le nombre de particules (nucléons) qui se trouvent au centre de l'atome (noyau ou nucléus). L'énergie nucléaire est produite par le noyau de l'atome; le rayonnement atomique est donc un type d'énergie nucléaire (mais ce n'est pas la plus puissante). Toutes les caractéristiques d'un radio-isotope peuvent être déterminées à partir du symbole chimique de l'élément et du chiffre qui y est apposé – sa demi-vie et le type de rayonnement atomique produit par la désintégration. (Les atomes non radioactifs ont aussi des isotopes et sont représentés de la même façon.)

La demi-vie de l'uranium 238 est de 4,5 milliards d'années – environ le même âge que la Terre, selon la meilleure estimation des scientifiques. C'est pour cela que l'uranium est toujours présent, après tout ce temps. Au moment de la formation de la Terre, il devait y avoir au moins deux fois plus d'uranium 238 que ce qu'on retrouve aujourd'hui.

La demi-vie de l'uranium 235 (${}_{235}\text{U}$) est de 703 millions d'années. Une grande quantité a disparu depuis la formation de la Terre, et aujourd'hui, il n'en demeure qu'une fraction. Cette fraction est 0,7 % de la quantité totale

d'uranium, répartie uniformément dans le monde. Ainsi, dans tout gisement d'uranium, dans tout corps minéralisé d'uranium partout dans le monde, seulement 7 atomes d'uranium sur 1 000 sont de l'uranium 235.

Deux autres matières radioactives existent depuis la création de la Terre : le thorium 232 ($_{232}\text{Th}$) et le potassium 40 ($_{40}\text{K}$). Le thorium 232 a sa propre chaîne de désintégration, mais ce n'est pas le cas du potassium 40, qui n'a pas de produit de désintégration qui est radioactif.

Aucun de ces concepts n'est expliqué dans l'ÉIE. Le mot « isotope » revient 12 fois sans jamais être expliqué ou défini. Le mot « radionucléide » est utilisé 7 fois dans les volumes 1 et 2 et de nombreuses fois dans les volumes 3 et 4, mais il n'est ni défini ni expliqué, et n'est jamais relié au mot « isotope ».

Isotope

Vol. 1 – 3 fois; Vol. 2 – 5 fois, deux fois dans le texte et trois fois dans les tableaux;
Vol. 3 – deux fois à la page 33; Vol. 4 – deux fois à la page 399, dans le contexte des « isotopes médicaux ».

Radionucléide

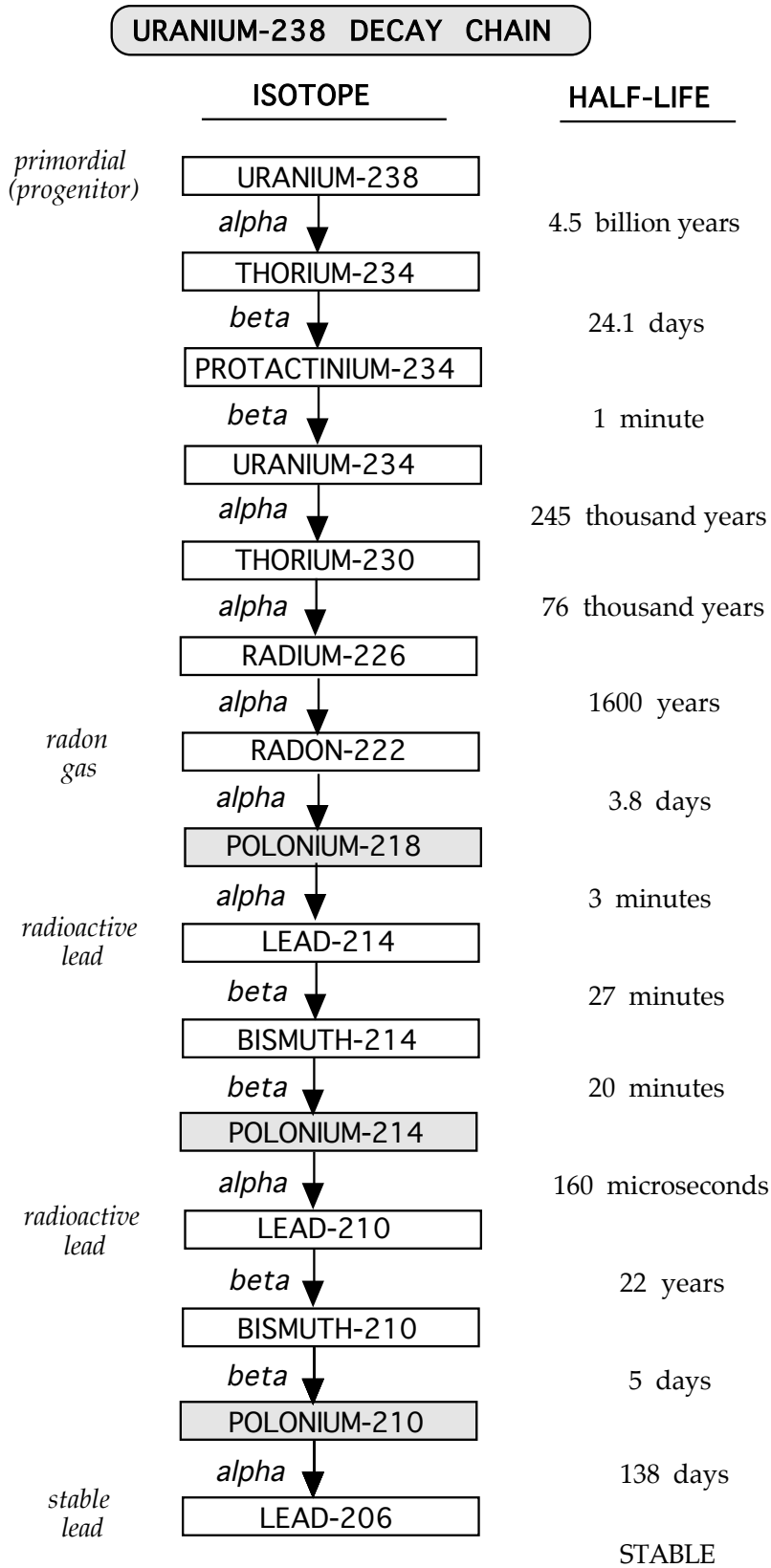
Vol. 1 – 3 fois, deux fois à la page 67 et une fois à la page 108; Vol. 2 – 4 fois, 19 ou 20 d'eux énumérés;
Vol. 3 – plusieurs fois, mais seulement 4, 5 ou 6 énumérés; Vol. 4 – plusieurs fois, avec 4, 5 ou 6 énumérés.

Question 6 : Qu'entend-on par « chaîne de désintégration » (famille radioactive) de l'uranium?

Pour une ÉIE portant sur l'exploration uranifère, il est incroyable qu'on ne fasse nullement mention de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 ou de l'uranium 235. C'est une omission absolument stupéfiante, car les paramètres des dangers radiologiques associés à l'exploration, aux activités minières et à la gestion à long terme des résidus de traitement de l'uranium reposent sur la chaîne de désintégration.

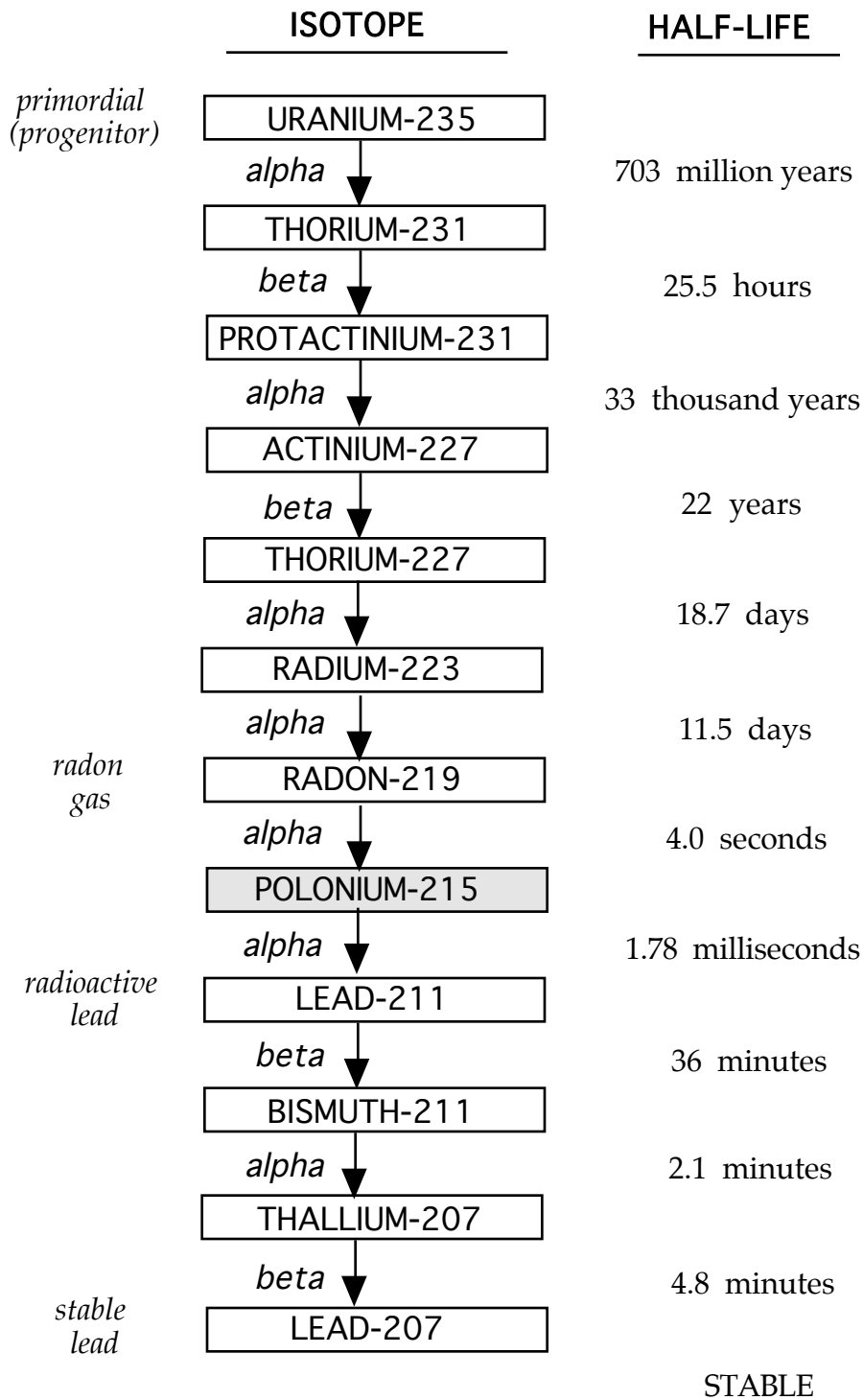
Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et de l'uranium 235 sont expliquées dans les deux pages qui suivent. On appelle la chaîne de désintégration du premier, « famille de l'uranium 235 » et celle du second, « famille de l'uranium 238 ».

Une autre chaîne de désintégration importante est celle du thorium, que nous expliquerons ici. Un corps minéralisé radioactif contenant de l'uranium renfermera souvent du thorium 232. Il est important de savoir que d'autres matières radioactives (de la famille du thorium 232) peuvent être présentes, parce qu'elles aboutiront dans les sous-produits (résidus de traitement de l'uranium, déchets de roche, effluents, sédiments, etc.).

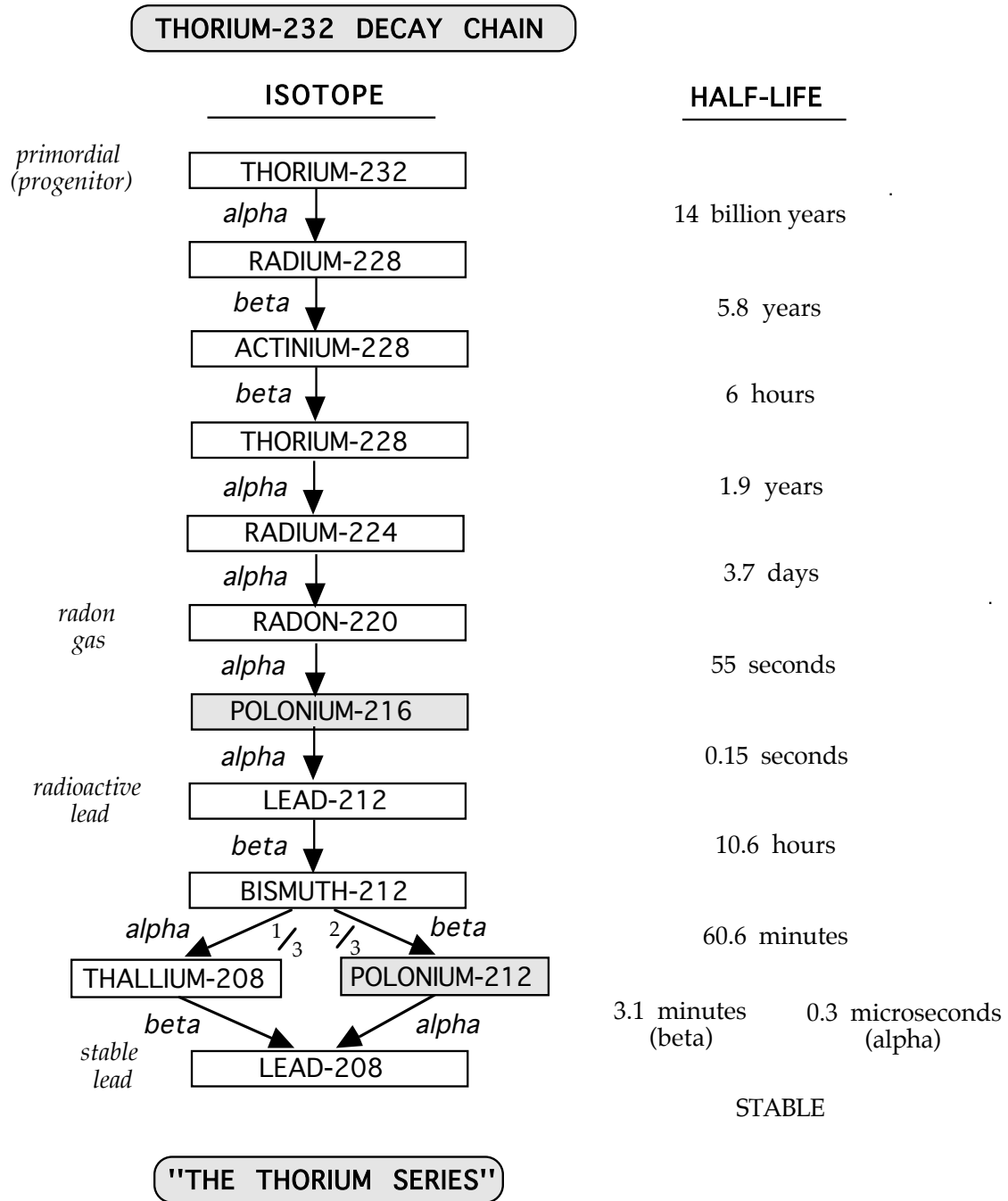


"THE URANIUM SERIES"

URANIUM-235 DECAY CHAIN



"THE ACTINIDE SERIES"



Note: 33 % of the stable lead-208 is produced from thallium-208 by "beta decay", and 67 % is produced from polonium-212 by "alpha decay".

Dans les directives, le Comité d'évaluation précise que le promoteur doit porter « une attention particulière à la problématique de traitement de certains éléments qui pourraient être associés à l'uranium ». Pourtant, le seul endroit où les éléments de la famille de désintégration sont mentionnés est dans le volume 2, à la page 45 :

Puisque la *Directive 019* ne précise pas quels radionucléides doivent être testés, le promoteur les a choisis en fonction des produits de descendance du minéral métallifère environnant du projet Matoush, l'uraninite (UO₂). Les éléments radioactifs de la famille de désintégration de l'uranium ayant une demi-vie supérieure à 7 jours ont été analysés, notamment les isotopes suivants : actinium 228, bismuth 212 et 214, plomb 210, 212 et 214, polonium 210, potassium 40, radium 223 et 226, radon 219, thallium 208, thorium 227, 228, 230 et 234, et uranium 234, 235 et 238.

Bien des choses clochent dans ce paragraphe.

Premièrement, du point de vue juridique, la *Directive 019* doit s'appliquer à tous les radionucléides pertinents, qu'ils soient mesurés directement ou indirectement. L'interprétation du promoteur est tout simplement erronée; on ne peut « choisir » les radionucléides à inclure.

Deuxièmement, les éléments radioactifs mentionnés ne font pas partie de la famille de désintégration de l'uranium. Seulement 10 des 19 mentionnés sont inclus dans la chaîne de désintégration de l'uranium 238, tandis que 4 sont issus de la chaîne de désintégration de l'uranium 235 (la famille des actinides, p. 9). En ce qui a trait aux 5 autres radionucléides énumérés, l'un est du potassium 40 (et ne fait donc partie d'aucune des trois chaînes de désintégration principales) et les 4 autres appartiennent à la chaîne de désintégration du thorium 232 (p.10), et ce, même si le thorium 232 n'est même pas mentionné!

Troisièmement, deux éléments radioactifs appartiennent à la famille de désintégration de l'uranium 235, ont une demi-vie supérieure à 7 jours et ne sont pas mentionnés : le protactinium 231, qui a une demi-vie de 33 000 ans, et l'actinium 227, dont la demi-vie est de 22 ans. Deux autres éléments radioactifs sont omis, chacun ayant une demi-vie de plus de 7 jours : le thorium 232 (demi-vie de 14 milliards d'années), et le radium 228 (demi-vie de 5,8 ans).

La confusion entourant cette liste jette à nouveau le doute sur la compétence du promoteur en ce qui a trait à la radioactivité. Mais ce qui est le plus grave, c'est que 18 radionucléides ne font tout simplement pas partie de la liste.

En tout, 36 radionucléides sont inclus dans les chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232, et le promoteur n'en énumère que la moitié (en plus du potassium 40). Il écarte purement et simplement 18 espèces radioactives pertinentes.

Voici les radionucléides manquants : protactinium 234, radon 222, polonium 218, polonium 214, bismuth 210, thorium 232, radium 228, radium 224, radon 220, polonium 216, polonium 212, thorium 231, protactinium 231, actinium 227, polonium 215, plomb 211, bismuth 211 et thallium 207.

Tous ces isotopes manquants sont également exclus du tableau 3.4, *Concentrations des paramètres radiologiques* (vol. 2, p. 79), et du tableau 3.5, *Classification radiologique des échantillons* (vol. 2, pages 80 et 81) – à l'exception du plomb 211 et du thorium 232, lesquels, même s'ils sont exclus de la liste susmentionnée, figurent dans les deux tableaux. Étrangement, l'uranium 238 est mentionné dans la liste, mais non dans les tableaux.

Quelle est l'importance de tout cela? C'est qu'il s'agit du seul endroit dans les quatre volumes de l'EIE où les concepts des produits de désintégration radioactive et des demi-vies radioactives sont utilisés ensemble, d'une façon significative. Mais les auteurs ont raté la cible et un tel cafouillis leur aurait valu un échec dans toute université digne de ce nom.

Ou bien le promoteur a des lacunes en ce qui a trait à la radioactivité, ou bien il ne dissimule des informations utiles au Comité et à la collectivité. Quoi qu'il en soit, il ne démontre pas qu'il est suffisamment compétent ou digne de confiance à ce chapitre pour satisfaire aux directives de l'EIE.

Au passage, même si le promoteur s'en était tenu aux seuls éléments de la famille de désintégration de l'uranium ayant une demi-vie supérieure à 7 jours, trois des plus mortels auraient été exclus : le radon 222 (demi-vie de 3,8 jours), le polonium 218 (demi-vie de 3 minutes) et le polonium 214 (demi-vie de 180 microsecondes). On sait qu'environ 85 % des lésions pulmonaires attribuables au radon sont en réalité causées par les deux isotopes à courte période du polonium et mènent au cancer du poumon. Par conséquent, ce sont ces trois isotopes qui sont responsables du décès de centaines de mineurs d'uranium dans les gisements souterrains :

« Les particules alpha dégagées par deux radio-isotopes de la chaîne de désintégration du radon, le polonium 218 et le polonium 214, produisent [...] l'énergie considérée comme la cause des cancers du poumon associés au radon. »

*Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI), p. 21-22,
U.S. National Academy of Sciences, 1999. [traduction]*

Question 7 : Qu'entend-on par « équilibre radioactif »?

Il est essentiel de saisir le concept de l'équilibre radioactif si l'on veut comprendre la nature des liens entre les produits de désintégration radioactive d'un corps minéralisé (ou dans toute enceinte de confinement). Ce concept n'est toutefois mentionné nulle part dans l'EIE.

On dit d'un élément qu'il est en équilibre radioactif lorsqu'il est produit au même rythme qu'il se désintègre, ce qui fait que le nombre d'atomes qui le composent demeure toujours constant.

À l'état d'équilibre radioactif, un élément radioactif conserve un nombre constant de becquerels pendant très longtemps, peu importe sa demi-vie. C'est parce que les atomes qui se désintègrent sont constamment remplacés par de nouveaux, ce qui fait que la population globale d'atomes ne diminue jamais; les nouveaux atomes remplacent constamment ceux qui se sont désintégrés.

Supposons que l'on place 1 000 becquerels de radium 226 dans une enceinte hermétique (comme une roche intacte). Dans la famille de désintégration de l'uranium (p. 8), le radon 222 est le produit de désintégration immédiat du radium 226; ainsi, à chaque seconde, 1 000 atomes de radium 226 se désintègrent pour produire 1 000 atomes de radon 222.

Puisque 1 000 nouveaux atomes de radon 222 sont créés chaque seconde, la quantité de radon commence à augmenter. Plus il y a de radon, plus il y a d'atomes de radon en désintégration par seconde; autrement dit, le nombre de becquerels de radon 222 à l'intérieur de l'enceinte est à la hausse – pendant un certain temps.

Mais le nombre d'atomes de radon en désintégration ne peut augmenter continuellement. Il finira par atteindre le stade où 1 000 atomes de radon se désintègrent à chaque seconde – équilibrant précisément la création des 1 000 atomes de radon par seconde. À ce moment-là, le radon aura atteint l'équilibre radioactif : la production d'atomes se fera au même rythme que la désintégration.

Ainsi, à partir de 1 000 becquerels de radium, on a obtenu 1 000 becquerels de radon également. La radioactivité totale a donc augmenté considérablement!

Il convient de souligner que l'équilibre radioactif est atteint lorsque le nombre de becquerels de radon 222 est le même que le nombre de becquerels de

radium 226. Le premier chiffre désigne la rapidité avec laquelle le radon se désintègre et le second, la rapidité avec laquelle il est produit. Dans notre exemple, nous avons utilisé 1 000 becquerels, mais ce chiffre est tout à fait aléatoire.

Combien de temps faut-il attendre pour obtenir cet état d'équilibre? Combien faut-il de temps pour que le radon 222 atteigne l'état d'équilibre radioactif?

Environ un mois, dans un contenant intact – c'est-à-dire 8 fois la demi-vie du radon 222. (Le radon 222 a une demi-vie de 3,8 jours, donc $8 \times 3,8 = 30,4$ jours.) Après ce temps, le nombre de becquerels de radon dans le contenant demeurera constant pendant d'innombrables années, et ce, même si sa demi-vie est de seulement 3,8 jours!

Ce calcul est valide du fait que l'« élément parent », le radium 226, a une très longue demi-vie de 1 600 ans; par conséquent, la quantité de radium 226 ne diminue de façon perceptible qu'après quelques mois, quelques années, voire ou quelques décennies. Et la production de radon se poursuit de manière constante.

La radioactivité du radium 226 n'est pas constante, mais presque. En réalité, le nombre de becquerels de radium 226 diminue graduellement au fil du temps, ainsi que le nombre de becquerels de radon, même dans des conditions d'équilibre. Mais il faut des siècles avant que cela ne soit perceptible. Ainsi, même si le parfait équilibre radioactif n'est jamais atteint, il est tout de même « presque parfait »!

Ce qu'il faut comprendre, c'est que les matières radioactives à courte demi-vie demeurent présentes pendant de très longues périodes si elles sont alimentées par un progéniteur de longue durée. La quantité de produits de désintégration de courte période augmente jusqu'à atteindre l'équilibre avec son progéniteur de longue période, au point où le nombre de becquerels de chacun – le progéniteur et le produit de désintégration – deviennent équivalents.

Dans le cas d'un radionucléide dit « principal » – l'uranium 238, l'uranium 235 ou le thorium 232 –, on sait (l'ÉIE n'en fait nullement mention) qu'un vieux dépôt géologique intact formé de l'une de ces matières renfermera tous les radionucléides de la chaîne de désintégration de cette matière, et que tous seront à l'état d'équilibre radioactif. Ainsi, le nombre de becquerels pour chaque radionucléide de la chaîne de désintégration sera exactement le même, du premier au dernier.

Le concept d'équilibre est important parce qu'il permet de déterminer avec précision combien de thorium 230, de radium 226 et de polonium 210 devrait se trouver dans un dépôt minéralisé donné, à partir de la quantité d'uranium 238 qui s'y trouve. De même, on peut prédire la quantité de radium 228, de thorium 228 et de plomb 212 à partir de la quantité de thorium 232 présente dans le minerai.

Si l'on sait combien de becquerels du radionucléide principal sont présents, on peut prédire avec certitude que le nombre de becquerels de chacun des produits de désintégration de la chaîne correspondante sera le même.

Remarque technique : Il y a une légère exception à cette règle, lorsqu'on se trouve en présence de deux modes de désintégration radioactive différents, comme c'est le cas avec le bismuth 212 – un radionucléide de la chaîne de désintégration du thorium 232 (p. 10). Dans ce cas, à l'état d'équilibre, le nombre de becquerels du « parent » équivaudra à la somme du nombre de becquerels de ses deux « descendants » immédiats.

Le bismuth 212 n'a pas un, mais deux produits de désintégration immédiats : le thallium 208 et le polonium 212. Selon les scientifiques, à l'état d'équilibre, le nombre de becquerels de thallium 208 n'équivaut qu'au tiers du nombre de becquerels de bismuth 212, tandis que le nombre de becquerels de polonium 212 correspond environ aux deux tiers de celui du bismuth 212. Si on les additionne, la somme correspond au nombre total de becquerels de bismuth 212.

Le concept de l'équilibre radioactif permet de comprendre pourquoi les chiffres du tableau 3.4 (en becquerels par gramme) devraient pratiquement être identiques pour les radionucléides issus d'une même chaîne de désintégration (dans presque tous les cas, si l'on tient compte de l'exception susmentionnée). Et cela vaut pour chacun des deux échantillons de roche testés.

Dans les 3 pages suivantes, les entrées du tableau 3.4 sont divisées selon les trois chaînes de désintégration en cause : l'uranium 238, l'uranium 235 et, enfin, le thorium 232.

La première observation surprenante est le nombre de radionucléides qui sont exclus de la liste. Il s'agit là d'une grave erreur du promoteur.

La seconde observation est que certaines des concentrations radiologiques mentionnées contreviennent au principe de l'équilibre radioactif. Voilà donc une autre erreur fondée sur des mesures ou des rapports inexacts.

The Uranium-238 Family

**Table 3.4 Radiologic Parameter Concentrations
Matoush Project,
Strateco Resources Inc.**

08 1221 30

Analytical Method Isotope Unit	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	
	Lead-210 Bq/g	Polonium-210 Bq/g	Radium-226 Bq/g	Thorium-228 Bq/g	Thorium-230 Bq/g	Thorium-232 Bq/g	Uranium-234 Bq/g	Thorium-234 Bq/g	Lead-214 Bq/g	Bismuth-214 Bq/g	Actinium -228 Bq/g	Lead-212 Bq/g	Bismuth-212 Bq/g	Thallium-208 Bq/g	Uranium-235 Bq/g	Thorium -227 Bq/g	Radium-223 Bq/g	Radon-219 Bq/g	Lead-211 Bq/g	Potassium-40 Bq/g
MT-06-014-01	0.06	0.03	0.03		0.04		0.041	0.07	0.02	0.03										
MT-06-17-01	0.03	0.03	0.07		0.04		0.033	0.02	0.03	0.02										
MT-06-17-02	0.02	0.02	0.02		0.04		0.022	0.05	0.02	0.01										
MT-06-30-01	0.03	0.05	0.04		0.06		0.047	0.07	0.03	0.04										
MT-06-32-01	0.03	0.03	0.05		0.04		0.039	0.05	0.03	0.02										
MT-07-011-01	0.02	0.03	0.04		0.04		0.043	0.05	0.02	0.02										
MT-07-012-01	0.02	0.03	0.02		0.05		0.049	0.04	0.01	0.02										
MT-07-10-01	0.02	0.04	0.04		0.04		0.046	0.04	0.04	0.02										
MT-07-101-01	0.02	0.03	0.04		0.04		0.041	0.03	0.03	0.03										
MT-07-104-01	0.02	0.04	0.07		0.04		0.057	0.02	0.04	0.04										
MT-07-114-01	0.02	0.02	0.01		0.04		0.028	0.03	0.02	0.02										
MT-07-124-01	0.02	0.03	0.10		0.04		0.046	0.04	0.03	0.03										
MT-07-126-01	0.02	0.02	0.06		0.06		0.041	0.06	0.03	0.03										
MT-08-007-01	0.02	0.04	0.04		0.05		0.055	0.04	0.04	0.04										
MT-08-019-01	0.02	0.03	0.01		0.04		0.039	0.02	0.03	0.02										
MT-08-025-01	0.02	0.02	0.04		0.02		0.022	0.06	0.003	0.01										
MT-08-027-02	0.02	0.04	0.04		0.06		0.048	0.07	0.03	0.04										
MT-08-034-01	0.02	0.05	0.04		0.04		0.061	0.08	0.05	0.04										
MT-08-047-01	0.02	0.02	0.06		0.03		0.037	0.05	0.02	0.02										
MT-08-066-01	0.02	0.02	0.02		0.02		0.023	0.02	0.02	0.03										
MT-08-088-01	0.02	0.02	0.02		0.02		0.026	0.02	0.02	0.03										

- 6 radionuclides are missing
- numbers not in agreement

Notes:
Gamma = Gamma spectroscopy
Total = Alpha spectroscopy
U-234 values are calculated from values for total Uranium by ICP-MS obtained from SRC Laboratory.
The calculation is based on the assumption that uranium exists in its natural isotopic ratio

Missing: uranium-238, protactinium-234, radon-222, polonium-218, polonium-214, bismuth-210

Concentrations: thorium-230 and radium-226 should be about equal
lead-210 should not be smaller than polonium-210

The Uranium-235 Family

**Table 3.4 Radiologic Parameter Concentrations
Matoush Project,
Strateco Resources Inc.**

08 1221 30

Analytical Method	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	
Isotope	Lead-210	Polonium-210	Radium-226	Thorium-228	Thorium-230	Thorium-232	Uranium-234	Thorium-234	Lead-214	Bismuth-214	Actinium-228	Lead-212	Bismuth-212	Thallium-208	Uranium-235	Thorium-227	Radium-223	Radon-219	Lead-211	Potassium-40
Unit	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g
MT-06-014-01															0.004	0.003	0.004	0.006	0.02	
MT-06-17-01															0.004	0.004	0.004	0.006	0.01	
MT-06-17-02															0.006	0.005	0.006	0.008	0.02	
MT-06-30-01															0.005	0.006	0.005	0.007	0.03	
MT-06-32-01															0.004	0.004	0.005	0.006	0.02	
MT-07-011-01															0.007	0.006	0.007	0.01	0.03	
MT-07-012-01															0.006	0.004	0.006	0.008	0.02	
MT-07-10-01															0.003	0.004	0.005	0.006	0.01	
MT-07-101-01															0.005	0.002	0.006	0.004	0.01	
MT-07-104-01															0.006	0.006	0.006	0.009	0.001	
MT-07-114-01															0.003	0.002	0.004	0.006	0.02	
MT-07-124-01															0.006	0.006	0.006	0.01	0.02	
MT-07-126-01															0.004	0.004	0.005	0.006	0.02	
MT-08-007-01															0.003	0.004	0.004	0.005	0.02	
MT-08-019-01															0.006	0.006	0.005	0.009	0.02	
MT-08-025-01															0.006	0.004	0.007	0.02	0.03	
MT-08-027-02															0.004	0.002	0.005	0.008	0.03	
MT-08-034-01															0.004	0.004	0.004	0.006	0.02	
MT-08-047-01															0.005	0.006	0.006	0.01	0.01	
MT-08-066-01															0.005	0.003	0.004	0.007	0.02	
MT-08-088-01															0.003	0.003	0.004	0.005	0.02	

- 6 radionuclides missing
- numbers not in agreement

Notes:
Gamma = Gamma spectroscopy
Total = Alpha spectroscopy
U-234 values are calculated from values for total Uranium by ICP-MS obtained from SRC Laboratory.
The calculation is based on the assumption that uranium exists in its natural isotopic ratio

Missing: thorium-231, protactinium-231, actinium-227, polonium-215, bismuth-211, thallium-207

Concentrations: lead-211 should be about the same as all the others
radium-223 cannot be smaller than radon-219

The Thorium-232 Family

**Table 3.4 Radiologic Parameter Concentrations
Matoush Project,
Strateco Resources Inc.**

08 1221 30

Analytical Method	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	
Isotope	Lead-210	Polonium-210	Radium-226	Thorium-228	Thorium-230	Thorium-232	Uranium-234	Thorium-234	Lead-214	Bismuth-214	Actinium-228	Lead-212	Bismuth-212	Thallium-208	Uranium-235	Thorium-227	Radium-223	Radon-219	Lead-211	Potassium-40	
Unit	Ba/a	Ba/a	Ba/a	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Ba/a	Ba/a	Ba/a	Ba/a	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	
MT-06-014-01				0.03		0.02					0.06	0.02	0.008	0.008							
MT-06-17-01				0.04		0.03					0.003	0.03	0.006	0.006							
MT-06-17-02				0.03		0.03					0.006	0.02	0.01	0.002							
MT-06-30-01				0.05		0.04					0.05	0.04	0.009	0.01							
MT-06-32-01				0.02		0.05					0.004	0.03	0.008	0.009							
MT-07-011-01				0.02		0.04					0.01	0.03	0.01	0.008							
MT-07-012-01				0.03		0.02					0.006	0.008	0.008	0.01							
MT-07-10-01				0.02		0.02					0.004	0.01	0.007	0.007							
MT-07-101-01				0.02		0.02					0.02	0.02	0.006	0.007							
MT-07-104-01				0.03		0.03					0.006	0.01	0.01	0.007							
MT-07-114-01				0.05		0.02					0.004	0.007	0.007	0.008							
MT-07-124-01				0.12		0.14					0.12	0.13	0.08	0.02							
MT-07-126-01				0.09		0.08					0.11	0.09	0.08	0.03							
MT-08-007-01				0.04		0.03					0.004	0.03	0.04	0.01							
MT-08-019-01				0.02		0.03					0.006	0.01	0.01	0.002							
MT-08-025-01				0.05		0.05					0.006	0.01	0.01	0.01							
MT-08-027-02				0.05		0.04					0.005	0.05	0.008	0.02							
MT-08-034-01				0.04		0.02					0.004	0.007	0.007	0.006							
MT-08-047-01				0.05		0.04					0.07	0.06	0.05	0.02							
MT-08-066-01				0.02		0.02					0.04	0.02	0.008	0.007							
MT-08-088-01				0.04		0.03					0.05	0.03	0.008	0.006							

- 5 radionuclides missing
- numbers not in agreement

Notes:
Gamma = Gamma spectroscopy
Total = Alpha spectroscopy
U-234 values are calculated from values for total Uranium by ICP-MS obtained from SRC Laboratory.
The calculation is based on the assumption that uranium exists in its natural isotopic ratio

Missing: radium-228, radium-224, radon-220, polonium-216, polonium-212

Concentrations: lead-212 and bismuth-212 should be approximately equal
bismuth-212 should be about three times thallium-208

Pour expliquer l'illogisme de certains chiffres du tableau 3.4, utilisons un exemple aléatoire.

Examinons les chiffres mentionnés à la page p. 17 pour le radium 223 et le radon 219 – deux éléments de la famille de désintégration de l'uranium 235. Le nombre de « becquerels par gramme » de radon 219 est supérieur à celui du radium 223 dans tous les cas, sauf un. Cela n'a pas de sens. Il doit y avoir une erreur et voici pourquoi.

Le radium 223 étant le « parent radioactif » immédiat du radon 219, il n'est pas logique qu'il ait moins de becquerels que le radon 219. Cela voudrait dire que les atomes de radon 219 se désintègrent plus rapidement qu'ils sont créés : un état de profond déséquilibre. Mais la demi-vie du radon 219 est de 4 secondes, c'est pourquoi aucun déséquilibre ne peut durer, même pendant une minute! L'équilibre radioactif du radon 219 doit être atteint après huit demi-vies, soit après $8 \times 4 = 32$ secondes.

Prenons à présent les chiffres de la première rangée du tableau 3.4 (p. 17). La quantité de radium 223 est de 0,004 becquerel par gramme et celle du radon 219, de 0,006 becquerel par gramme. Ainsi, dans chaque kilogramme de roche, 4 atomes de radium 223 se désintègrent en radon 219 chaque seconde, tandis que 6 atomes de radon 219 se désintègrent chaque seconde?

Non. Comme on vient de le dire, ces deux radionucléides atteignent l'équilibre après 32 secondes, après quoi, leur nombre de becquerels doit être le même. Dès que le radon 219 est en équilibre, il ne peut y avoir création de 4 atomes et désintégration de 6 atomes par seconde – pas dans le même kilogramme de roche! Cela n'a pas de sens.

À tout le moins, la concentration radiologique de radon 219 pourrait être inférieure à celle du radium 223 si une certaine quantité de gaz radioactif pouvait s'échapper durant le concassage et les tests de l'échantillon; mais elle ne peut certainement pas être supérieure!

Question 8 : Comment la *Directive 019* du Québec est-elle appliquée?

Naturellement, ces erreurs du promoteur ont entraîné des erreurs de calcul de l'indice de radioactivité selon la *Directive 019* du Québec. C'est une question plutôt technique, mais elle est révélatrice des lacunes du promoteur dans le domaine de la radioactivité. Les erreurs de calcul ne sont peut-être pas trop importantes à cette étape exploratoire, mais elles pourraient devenir très graves au cours des phases ultérieures du projet Matoush.

La valeur S calculée par le promoteur – un indice défini dans la *Directive 019* pour classer également le caractère radiologique des résidus radioactifs – est beaucoup trop faible.

Si l'on se fie aux chiffres du promoteur dans le tableau 3.4 et si l'on applique le principe de prudence fondé sur le concept de l'équilibre radioactif, on constate que la valeur S calculée par le promoteur (tableau 3.5, pages 77-78, vol. 2) est beaucoup trop faible d'un facteur de 3,5 à 7,5.

Tout d'abord, il convient de mentionner qu'il y a quatre radionucléides principaux en présence : l'uranium 238, l'uranium 235, le thorium 232 et le potassium 40. En raison de l'équilibre radioactif, tous les produits de désintégration radioactive issus de toutes les chaînes de désintégration devraient avoir le même nombre de becquerels par gramme dans chaque échantillon.

Ensuite, pour chaque chaîne de désintégration, la concentration radiologique maximale enregistrée (pour tous les produits de désintégration testés) est la valeur la plus susceptible d'être exacte pour tous les autres produits de désintégration d'une même chaîne. C'est parce qu'il est peu probable que le nombre de désintégrations mesurées soit inférieur au nombre de désintégrations réelles.

Appliquons à présent la formule de la *Directive 019* pour recalculer la valeur S, soit la somme de la valeur C/A de tous les radionucléides des quatre chaînes de désintégration, puis la somme de toutes ces valeurs. Comparons ensuite la valeur révisée, S_{rev} , à celle calculée par le promoteur, S_{EIS} .

Le symbole « C » représente la concentration radiologique de chaque radionucléide en becquerels par gramme. Le symbole « A » représente le nombre réglementaire associé à chaque radionucléide, soit 4 dans certains cas, 40 dans d'autres et 400 pour le potassium 40. La *Directive 019* explique tous ces principes.

À la page suivante se trouve un tableau qui présente les résultats du nouveau calcul. Les colonnes « C » précisent les concentrations radiologiques maximales rapportées pour chaque chaîne de désintégration, selon le tableau 3.4. Mais le nouveau calcul tient compte de tous les radionucléides manquants et applique le principe de l'équilibre radioactif, ce qui fait que le nombre des becquerels est égal s'il y a lieu. La valeur obtenue est appelée S_{rev} .

En moyenne, la valeur révisée de S (S_{rev}) est cinq fois et demie supérieure à celle calculée par le promoteur (S_{EIS}). En effet, pour chaque échantillon, le calcul de S par le promoteur est inférieur au calcul révisé d'un facteur se situant entre 3,7 et 7,5.

Calcul révisé de l'indice de radioactivité "S" selon le Directive 019

Numéro de l'échantillon	U-238 (C-1)	U-235 (C-2)	Th-232 (C-3)	K-40 (C-4)	S _{rev} S(C/A)	S _{EIS} table 3.5	Ratio
MT-06-014-01	0.07	0.02	0.06	0.82	0.236	0.042	5.62
MT-06-17-01	0.07	0.01	0.04	0.76	0.203	0.042	4.84
MT-06-17-02	0.06	0.02	0.03	1.10	0.188	0.025	7.50
MT-06-30-01	0.07	0.03	0.06	1.80	0.253	0.047	5.37
MT-06-32-01	0.06	0.02	0.06	1.60	0.217	0.040	5.41
MT-07-011-01	0.06	0.03	0.04	1.80	0.213	0.036	5.90
MT-07-012-01	0.06	0.02	0.03	1.50	0.189	0.029	6.50
MT-07-10-01	0.048	0.01	0.02	0.79	0.138	0.034	4.05
MT-07-101-01	0.04	0.01	0.02	0.75	0.120	0.032	3.76
MT-07-104-01	0.067	0.009	0.03	0.97	0.187	0.043	4.34
MT-07-114-01	0.04	0.02	0.05	1.20	0.163	0.022	7.42
MT-07-124-01	0.046	0.02	0.14	1.10	0.259	0.061	4.25
MT-07-126-01	0.06	0.02	0.11	1.00	0.261	0.046	5.68
MT-08-007-01	0.055	0.02	0.04	1.60	0.187	0.039	4.80
MT-08-019-01	0.039	0.02	0.03	1.60	0.144	0.026	5.52
MT-08-025-01	0.06	0.03	0.05	0.97	0.220	0.030	7.32
MT-08-027-02	0.07	0.03	0.05	0.82	0.241	0.039	6.17
MT-08-034-01	0.061	0.02	0.04	0.82	0.198	0.039	5.08
MT-08-047-01	0.06	0.01	0.07	1.60	0.212	0.041	5.16
MT-08-066-01	0.03	0.02	0.04	0.92	0.132	0.024	5.49
MT-08-088-01	0.03	0.02	0.06	1.20	0.151	0.026	5.81

S_{rev} = le calcul révisé de l'indice de radioactivité; S_{EIS}= le calcul fait par le promoteur.

De toute évidence, le promoteur n'a pas la compétence nécessaire en matière de radioactivité pour satisfaire aux directives du Comité.

Question 9 : Les matières radioactives sont-elles cancérigènes?

L'exposition chronique, même à faible dose, à des matières radioactives pendant une longue période accroît le risque de cancers et de leucémies dans la population exposée. Ce fait a été amplement démontré pour ce qui est du radium, du radon, du thorium et du polonium.

Pourtant, l'EIE ne traite nullement de cette question. En fait, les mots « cancer » et « cancérigène » (qui cause le cancer) ne sont employés dans aucun des quatre volumes, dans le contexte des matières radioactives comme facteur de causalité.

Dans le volume 1, le mot « cancérigène » est employé 4 fois, mais toujours en lien avec des contaminants *non radiologiques*, jamais avec des matières radioactives.

page 231 : « Valeurs de référence **non radiologiques** :

valeurs de toxicité de référence pour les substances d'intérêt carcinogènes »;

page 244 : « 5.6.7.2 Valeurs de référence des substances d'intérêt **non radiologiques**

Le potentiel cancérigène doit également être pris en compte dans l'évaluation des risques sur l'humain ».

page 246 : « 5.6.7.4 Risque d'exposition aux substances d'intérêt **non radiologiques**

[...] la caractérisation des risques pour les substances d'intérêt non radiologiques sur l'humain implique [...] les effets cancérigènes et non cancérigènes sur l'humain ».

page 246 : « 5.6.7.4 Risque d'exposition aux substances d'intérêt **non radiologiques**

Dans cette évaluation, seul le nickel est un contaminant cancérigène, et ce, uniquement par voie d'inhalation ». *[Le gras a été ajouté par l'auteur.]*

Le mot « cancer » n'est jamais utilisé dans le volume 1, et dans les volumes 2 et 3, on ne trouve aucune utilisation des mots « cancer » ou « cancérigène ».

Dans le volume 4, les mots « cancer » et « cancérigène » [qui cause le cancer] sont souvent utilisés dans la section 5.2.2, « Valeurs repères pour les contaminants **non radioactifs** », et dans la section 7.3.1, « Contamination **non radioactive** » (sous Résultats de l'évaluation des risques).

Le volume 4 traite à plusieurs reprises de l'utilisation d'*isotopes pour le diagnostic et le traitement du cancer*, mais le rayonnement comme cause du cancer n'est abordé qu'à trois reprises – précisément. La question a été soulevée par un trappeur cri, reproduite à la page 420, dans une réponse à une question d'une femme crie, à la page 427, et à nouveau à la page 471, dans une réponse à une question soulevée durant un atelier de discussion à Chibougamau.

La question du cancer radiogénique est donc mentionnée dans l'EIE, mais seulement parce que la population locale l'a soulevée; elle est traitée comme un sujet de second ordre ou sans importance.

Dans les deux volumes supplémentaires élaborés en réponse aux questions du Comité en date d'août 2010, le promoteur ne mentionne le cancer que deux fois, dans deux phrases consécutives à page 5 du volume 1.

Sans autre explication, le promoteur parle de la « découverte du lien entre le cancer du poumon et l'exposition au radon » comme une chose du passé, déclarant que « les expositions actuelles au radon dans les mines canadiennes ne présentent plus le même danger pour les mineurs ». Autrement dit, le risque de cancer du poumon causé par le radon est abordé juste assez longuement – dans une phrase à la page 6 – pour nier l'existence du problème.

Le défaut du promoteur de traiter des propriétés cancérigènes des éléments radioactifs tels que le radon, le radium, le thorium et le polonium contrevient clairement aux directives.

Question 10 : Le radon est-il responsable du décès de mineurs?

Des milliers de mineurs sont morts prématurément du cancer du poumon après avoir été exposés au radon dans des mines souterraines, et ce, sur plusieurs siècles. Pourtant, les faits historiques ne sont pas présentés ni abordés dans l'EIE.

Le sombre bilan attribuable au radon englobe un très grand nombre de travailleurs de mines d'argent et de cobalt de Schneeberg, en Allemagne, et Joachimsthal, en Tchécoslovaquie; les mineurs d'uranium de Navajo, dans le plateau du Colorado; les travailleurs des mines de spath fluor à Terre-Neuve; des mineurs d'uranium à Port Radium dans les Territoires du Nord-Ouest, à Uranium City, en Saskatchewan, à Elliot Lake et à Bancroft, en Ontario; et des travailleurs de mines non uranifères en Afrique du Sud et en Suède.

Le radon 222, un gaz rare produit par la désintégration de l'uranium 238 à l'état naturel, a été le premier agent cancérigène à avoir été identifié comme cause d'affections respiratoires attribuables à une exposition professionnelle. Dès les années 1500, Agricola recensait un taux inhabituellement élevé de mortalité par suite de maladies respiratoires chez les travailleurs de mines de métaux souterraines dans les monts Erz, en Europe de l'Est (Hoover et Hoover, 1950). En 1879, Harting et Hesse (1879) ont décrit les résultats d'autopsies faisant état de tumeurs pulmonaires malignes chez des mineurs de la région, et au début du XX^e siècle, les tumeurs malignes se classaient au premier rang des épithéliomas du poumon (Arnstein 1913).

Le Comité s'est penché sur 11 études d'envergure auprès de mineurs souterrains auxquelles ont participé environ 68 000 hommes, dont 2 700 sont morts du cancer du poumon. Il a fait une analyse de données statistiques afin de décrire comment le risque de décéder du cancer du poumon était fonction de l'exposition [au radon].

*Health Effects of Exposure to Radon (BEIR VI)
U.S. National Academy of Sciences, 1999*

Le promoteur fait fief des données historiques et n'aborde pas le sujet de la radioactivité comme cause du cancer du poumon. Ce faisant, il manque à sa responsabilité envers la population locale et les hommes et les femmes qui pourraient être appelés à travailler dans la rampe d'exploration ou dans la mine.

À la page 427 du volume 4, le promoteur parle d'un groupe de discussion qu'il a mis sur pied et auquel devaient participer des représentants des milieux social, de la sécurité, de la santé et de l'éducation. La seule représentante crie à avoir assisté à ce groupe a demandé : « Qu'est-ce que la radiation? J'ai entendu parler des Navaho. Quelles mesures de protection sont prévues? » [traduction]. En plus de ne pas répondre à la question sur la radiation, le promoteur lui a fourni de fausses informations sur les mineurs de Navajo, dans le plateau du Colorado.

Le représentant du promoteur a répondu : « Les taux de cancer du poumon chez les Navaho sont attribuables au tabagisme et à de mauvaises pratiques minières ». Outre la faute d'orthographe, le mot devant être « Navajo », le promoteur a présenté des caractéristiques inexacts et trompeuses sur l'épidémie notoire de cancers du poumon causée par le radon chez les mineurs de Navajo.

Les Navajo étaient principalement non fumeurs. En fait, le nombre de mineurs navajo non fumeurs était si important qu'il offre un exemple frappant des propriétés carcinogènes du radon dans une population de non-fumeurs.

Il semble que le promoteur a non seulement refusé de fournir des données factuelles sur la carcinogenèse attribuable à l'exposition à des matières radioactives, mais a tout simplement inventé des choses pour répondre à des questions sérieuses posées par des membres de la collectivité locale. C'est le comble de l'irresponsabilité.

Question 11 : La réglementation rend-elle l'exposition au radon sécuritaire?

Malgré l'emploi fréquent du mot « radon » dans l'EIE (41 fois dans le volume 1, 27 fois dans le vol. 2, 5 fois dans le vol. 3, 162 fois dans le vol. 4), le promoteur ne mentionne *jamaïs* les risques pour la santé de l'exposition chronique au radon.

Dans ses réponses aux questions du Comité, le sujet est soulevé une seule fois - vol. 1, page 7. Voici la somme des renseignements fournis par le promoteur sur les effets sur la santé de l'exposition au radon.

« Au chapitre de la santé, les travailleurs des premières mines d'uranium canadiennes ont connu des problèmes de santé puisqu'à cette époque, les effets nocifs d'une exposition à de fortes concentrations n'étaient pas

connus. La découverte du lien entre le cancer du poumon et l'exposition au radon a permis d'établir une série de mesures pour protéger les travailleurs et la population. En effet, l'étude d'Eldorado, qui consistait à surveiller la santé des travailleurs dans les mines d'uranium canadiennes au cours des cinquante dernières années, contient des renseignements importants pour la compréhension de la relation entre l'exposition au radon et le risque de cancer du poumon. Grâce à cette étude, entre autres, les expositions actuelles au radon dans les mines canadiennes ne présentent plus le même danger pour les mineurs, en raison des normes améliorées et rigoureuses en matière de santé et de sécurité. »

Document de Strateco 75-752-F-1-001, p. 7

Ce résumé de quatre phrases de l'un des plus importants problèmes de santé professionnels liés aux mines d'uranium est non seulement inadéquat, mais profondément trompeur.

Premièrement, le promoteur fait de la désinformation en affirmant que les « effets nocifs d'une exposition [...] étaient inconnus » lorsqu'on a commencé à exploiter les mines d'uranium. Dès 1931, le ministère canadien des Mines avait publié une série de rapports sur les effets nocifs de l'exposition à faible dose aux matières radioactives, dont le radon, ce qu'on appelait à l'époque l'« émanation ».

Les dangers associés à la manipulation de matières à forte teneur radioactive forcent l'adoption de certaines précautions. De récentes enquêtes sur la contamination par le radium ont conclu que des mesures de précaution doivent être prises, et ce, même pour la manipulation de substances faiblement radioactives. L'ingestion de petites quantités de poussière radioactive ou d'émanation [p. ex. de radon] sur une longue période de temps provoquera une accumulation de matières radioactives dans le corps, ce qui peut avoir de graves conséquences. Le cancer du poumon, la nécrose osseuse et une anémie rapide sont autant de maladies probables attribuables au dépôt de substances radioactives dans le tissu cellulaire ou la structure osseuse [...] *[traduction]*

*Precautions for Workers in the Treating of Radium Ores
Investigations in Ore Dressing and Metallurgy
Ministère des Mines, Canada, 1931*

W. R. McLelland, l'ingénieur gouvernemental auteur de l'extrait précité a également rédigé deux notes de service sur le sujet. Le 8 février 1932, s'adressant au chef de sa division, au ministère des Mines, il mentionnait qu'il avait appris récemment qu'« un grand nombre de mineurs dans les mines de Bohême [exposés à des minerais uranifères en Tchécoslovaquie avaient] développé un sarcome du poumon ». *[traduction]*

M. McLelland avait ajouté ce qui suit : « il est nécessaire d'adapter une réglementation très rigoureuse sur les précautions à prendre et l'examen attentif de tous les travailleurs doit être maintenu. L'auteur détient des données très complètes sur la question, recueillies à la suite d'observations rigoureuses, de discussions personnelles et de la lecture de plusieurs rapports et publications. »

Deuxièmement, le promoteur fait de la désinformation lorsqu'il laisse sous-entendre que les soi-disant « normes rigoureuses » actuelles en matière d'exposition au radon pour les mineurs éliminent les risques de cancer du poumon attribuable au rayonnement. C'est tout simplement faux.

En 1982, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) a publié une étude ambitieuse intitulée *Health Effects of Alpha Radiation*, réalisée par Duncan C. Thomas et K. G. McNeill. L'un des objectifs était de vérifier le risque de cancer du poumon associé aux niveaux autorisés d'exposition au radon. Les auteurs devaient utiliser les meilleures données disponibles dans le monde. La limite réglementaire d'exposition des travailleurs à l'époque était la même qu'aujourd'hui : 4 unités alpha-mois par année (WLM) (page 15, vol. 4 de l'EIE). [L'unité alpha-mois correspond à l'exposition accumulée au radon et à ses produits de désintégration radioactifs sur une période de temps donnée.]

Le rapport a présenté ses résultats avec un degré élevé de confiance :

« Ce rapport fournit des prévisions en matière de risque [...] fondées exclusivement sur des données concernant le cancer du poumon chez les humains recueillies auprès de mineurs du plateau du Colorado, en Tchécoslovaquie, en Suède, en Ontario et à Terre-Neuve [...] Notre meilleure estimation du risque relatif excessif est de $2,28 \pm 0,35$ [cancers du poumon] par 100 WLM. [Ce qui représente] une double dose [pour le cancer du poumon] de 44 WLM. Nos meilleures estimations des effets de l'exposition professionnelle pendant 50 ans à 4 WLM par année totalisent 130 décès par cancer du poumon de plus par 1 000 habitants [...] dans une échelle de 60 à 250 [cancers supplémentaires] par 1 000 habitants.

AECEB Research Report, INFO-0081, septembre 1982 [traduction]

Par conséquent, une dose accumulée de 44 unités alpha-mois (WLM) de radon double le risque qu'un travailleur meure du cancer du poumon. En vertu de la limite réglementaire existante – 4 WLM par année –, un travailleur pourrait accumuler cette dose en 11 ans. Étant donné que le taux normal de décès par cancer du poumon chez les hommes canadiens pendant la vie est d'environ 54 pour 1 000, il s'ensuit que 44 WLM d'exposition au radon doublera ce chiffre. Il y aura 54 décès par cancer du poumon *supplémentaires* par 1 000 hommes exposés, pour un total de 108 cancers du poumon par 1 000 hommes exposés. C'est loin d'être ce qu'on appelle une exposition sécuritaire!

Par souci de précision, il faut noter que dans une mine bien tenue, les mineurs ne sont généralement pas exposés au niveau maximal autorisé pour le radon. Habituellement, l'exposition annuelle moyenne d'un mineur est d'au plus 1 WLM par année; toutefois, une exposition de 1 WLM pendant 11 ans causerait 5 ou 6 décès supplémentaires par 1 000 hommes exposés, en plus des 54 cancers du poumon normalement prévus.

Le promoteur ne s'acquitte pas de sa responsabilité d'informer la population locale adéquatement à propos des risques du radon pour la santé, car il fait abstraction des données sur les cancers du poumon supplémentaires associés à différents degrés d'exposition. Cette information est très importante, puisque l'exposition au radon est la cause première du cancer du poumon chez les non-fumeurs et que chaque atome de radon tire son origine d'un atome d'uranium (il s'agit d'un produit de désintégration de l'uranium).

Et cette information est encore plus importante dans le contexte du projet Matoush. L'exposition au radon durant le forage exploratoire à 300 mètres du projet de rampe pourrait atteindre 3,4 WLM par année, selon les réponses fournies par Strateco à la page 198 du volume 2 des informations supplémentaires. Ce niveau d'exposition avoisine la limite réglementaire de 4 WLM par année, ce qui est loin de l'exposition professionnelle minimale promise par le promoteur.

Question 12 : Y a-t-il un niveau sécuritaire d'exposition au rayonnement ?

Après des dizaines d'années d'études, les scientifiques s'entendent majoritairement pour dire qu'il n'y a pas de niveau sécuritaire d'exposition au rayonnement atomique lorsqu'on pense au cancer, à la leucémie et à *certaines autres dommages biologiques causés par le rayonnement atomique* – notamment les dommages génétiques. Cette importante observation ne se trouve nulle part dans l'EIE.

La preuve scientifique appuie fortement l'opinion selon laquelle dans une population assez importante exposée à de très faibles doses de rayonnement atomique, certaines des personnes exposées développeront un cancer ou une leucémie. Il est impossible de prédire qui sera touché, mais on peut avancer avec suffisamment de précision combien le seront.

En particulier, les autorités médicales à l'échelle internationale ont conclu qu'il n'y a pas de niveau « sécuritaire » d'exposition au radon. L'Environmental Protection Agency des États-Unis signale qu'environ 20 000 Américains meurent chaque jour de l'exposition au radon émanant de leur domicile, même si les niveaux sont généralement beaucoup moindres que dans une mine d'uranium. [Voir <http://www.epa.gov/radon/>.]

En ce qui a trait à l'exposition au radon au domicile et dans d'autres bâtiments, la limite réglementaire au Canada est maintenant établie à 0,02 WL pour le radon et ses produits de désintégration. C'est environ 150 becquerels par mètre cube d'air. Selon le rapport Thomas-McNeill :

L'exposition maximale à 0,02 WL [de radon] dans les domiciles pourrait accroître le risque de développer un cancer du poumon au cours de la vie [des occupants] d'environ 40 %.

AECB Research Report, INFO-0081, septembre 1982 [traduction]

De même, un rapport publié en 1998 intitulé Le Radon à Oka révèle qu'un niveau d'exposition domestique au radon et à ses produits de désintégration radioactifs de 0,02 WL – l'équivalent de 150 becquerels par mètre cube d'air – augmente le risque de développer un cancer du poumon durant la vie d'environ 47 % par rapport au taux de référence. (Voir la page 19 du rapport publié par la Direction régionale de la santé publique de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides.) Ce sont 25 décès causés par le cancer du poumon de plus par 1 000 hommes exposés.

Évidemment, la limite réglementaire pour le radon n'est pas « sécuritaire » dans le sens qu'elle est sans danger; il s'agit d'un compromis entre les dommages biologiques et ce que l'on peut raisonnablement obtenir par la prévention.

La Commission internationale de protection radiologique (ICRP) a formulé la même conclusion dans une publication diffusée sur son site Web :

*À doses élevées ou faibles, [le rayonnement atomique] peut causer des effets stochastiques (aléatoires) comme le cancer, des troubles héréditaires, etc. [...]
] La nature probabiliste des effets stochastiques empêche de distinguer clairement ce qui est « sûr » de ce qui est « dangereux », et cela complique la formulation d'explications sur le contrôle des risques du rayonnement. La principale incidence politique d'un rapport sans seuil en ce qui a trait aux effets stochastiques est qu'il faut accepter un certain risque délimité à tout niveau de protection. Le risque zéro n'est pas envisageable. [traduction]*

*International Commission on Radiological Protection:
History, Policies, Procedures <http://www.icrp.org/docs/Histpol.pdf>*

L'« effet stochastique » fait référence à tout type de dommage biologique causé par le rayonnement, mais dont on peut réduire le nombre de victimes par la diminution de l'exposition, mais non la gravité. Le promoteur ne parle aucunement de ces importants concepts à la population locale. Il contrevient ainsi clairement aux directives du Comité.