

Le 9 février 2015

308

QUES32.3

Les enjeux de la filière uranifère au Québec

6211-08-012

Madame Rita LeBlanc
Coordonnatrice du secrétariat de la commission
Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
Édifice Lomer-Gouin
575, rue Saint-Amable, bureau 2.10
Québec (Québec) G1R 6A6

**Objet : Les enjeux de la filière uranifère au Québec –
Réponse aux questions 7, 8, 10, 12, 13 et 14 du 20 janvier 2015
(QUES32)**

Madame,

Par la présente, voici les réponses aux questions 7, 8, 10, 12, 13 et 14 de votre demande de renseignements complémentaires du 20 janvier 2015 (QUES32).

Question de la commission :

7. L'annexe 1 du Règlement sur les matières dangereuses présente un tableau de valeurs de l'activité massique maximale A pour certains radio-isotopes simples et propose une valeur pour ceux n'y figurant pas. L'activité massique C n'est pas indiquée.

Veillez :

- A) Définir l'activité massique C et l'activité massique maximale A ;
- B) Fournir des références en appui des valeurs de l'activité massique A du tableau ;

- C) Expliquer comment évaluer l'activité massique C ;
- D) Expliquer pourquoi avoir introduit deux activités massiques dans l'équation ainsi que les fondements de cette équation.

Réponse :

- A) L'activité massique A représente l'activité maximale mentionnée à l'annexe 1 du Règlement sur les matières dangereuses (RLRQ, chapitre Q-2, r.32) (RMD). Pour un radioélément donné, cette activité maximale est la valeur au-delà de laquelle une matière résiduelle contenant ce radioélément sera classée radioactive selon le RMD.

L'activité massique C est celle de chaque radioélément présent dans la matière résiduelle, c'est-à-dire l'activité mesurée ou estimée du radioélément par unité de masse de la matière résiduelle. Lorsque la valeur C est supérieure à la valeur A, la matière résiduelle est radioactive selon le RMD. Les activités massiques A ou C s'expriment en kilobecquerels par kilogramme de matière (kBq/kg).

- B) Les activités massiques A sont équivalentes aux quantités réglementaires (exprimées en microcurie) qui étaient mentionnées dans le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique, règlement qui a été abrogé en 2000. Les normes de ce règlement auraient été élaborées sur la base de la radiotoxicité des radiations émises. Les normes correspondent aux activités au-delà desquelles la Commission canadienne sur le contrôle de l'énergie atomique (CCEA) exerçait un contrôle sur la possession, la vente, l'importation ou l'utilisation de radio-isotopes. Cependant, toute la législation fédérale portant sur les substances nucléaires a été remplacée en mai 2000, et une nouvelle loi et de nouveaux règlements ont été adoptés, dont une révision des valeurs d'activité réglementées. À ce moment, la CCEA est devenue la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN).
- C) La radioactivité naturelle est due à la présence de potassium-40 et des séries de désintégration de l'uranium-238, de l'uranium-235 et du thorium-232. L'activité massique C est quantifiée en laboratoire pour des émetteurs gamma dans les séries de désintégration de l'uranium-238, de l'uranium-235 et du thorium-232. En posant l'hypothèse d'un équilibre radioactif, l'activité des radioéléments n'ayant pas été mesurés est estimée d'après l'activité des radio-isotopes parents, soit le radioélément mère (celui qui précède), soit le radioélément fille (celui qui suit).
- D) Étant donné la présence possible dans une matière résiduelle de nombreux radioéléments qui, pris séparément, peuvent tous être inférieurs à la limite fixée à l'annexe 1, il devient essentiel d'avoir une façon pour tenir compte de la présence de plusieurs radioéléments dans une matière. La valeur « S » joue ce rôle. Si un seul radioélément était présent, son activité serait directement

comparée à la norme de l'annexe 1 et aucun calcul ne serait nécessaire pour déterminer si la matière est radioactive. En effet, le fait de dépasser la norme de l'annexe 1 implique automatiquement une valeur « S » supérieure à 1, c'est-à-dire la présence d'une matière radioactive. Toutefois, lorsque plusieurs radioéléments sont présents, une somme des activités, pondérées par rapport aux normes de l'annexe 1, est effectuée. Donc, l'activité massique de chaque radioélément présent dans le résidu est divisée par la norme de l'annexe 1 et les fractions ainsi obtenues sont ensuite additionnées. Si le résultat de cette sommation (S) dépasse 1, la matière est radioactive.

Question de la commission :

8. Dans la nature, l'uranium se répartit en trois isotopes, U238 pour 99.275 %, U235 pour 0.719 % et U234 pour une infime portion. L'activité massique de l'U234 est si considérable que sa faible proportion contribue autant que l'U238 à l'activité massique totale l'uranium. U238 et U235 se désintègrent à leur tour en descendants différents présentant des activités massiques différentes.
- A) Expliquez comment ces isotopes et leurs différents descendants ont été pris en compte dans les valeurs de l'annexe 1 du Règlement sur les matières résiduelles dangereuses ;
- B) Expliquez comment la valeur d'activité massique maximale de 40 KBq/kg peut s'appliquer sans distinction à tous les radio-isotopes de l'annexe 1 du règlement ?

Réponse :

- A) Les radioéléments dans les séries de désintégration de l'uranium-238 et de l'uranium-235 qui ne sont pas spécifiquement nommés à l'annexe 1 du RMD sont pris en compte selon leur numéro atomique. Si le numéro atomique est supérieur à 89, la norme est de 4 kBq/kg. Si le numéro est inférieur ou égal à 89, la norme est de 40 kBq/kg. L'uranium-234 fait partie de la série de désintégration de l'uranium-238. L'Estimation de S pour un échantillon ayant une teneur en U naturel de 850 ppm jointe à la présente montre à la troisième colonne comment ces isotopes et leurs différents descendants ont été pris en compte dans les valeurs de l'annexe 1 du RMD. Cette estimation illustre le calcul fait pour la question 12.
- B) La valeur d'activité massique maximale de 40 kBq/kg ne s'applique pas sans distinction à tous les radio-isotopes de l'annexe 1 du RMD. Cette valeur s'applique à tout radioélément non spécifiquement nommé dont le numéro atomique est inférieur ou égal à 89. Comme mentionné à la réponse 7. B), les valeurs de l'annexe 1 proviennent du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique. Les normes de ce règlement auraient été élaborées sur la base de la

radiotoxicité des radiations émises. Ainsi, les radioéléments ayant une même norme auraient des radiotoxicités comparables.

Question de la commission :

10. Dans les laboratoires accrédités au Québec, en application du Règlement sur les matières dangereuses, quels sont les radio-isotopes et éléments qu'il est possible d'analyser et par quelle méthode?

Réponse :

L'article 18 du RMD indique que (le souligné est le nôtre).

« Les analyses déterminant les propriétés de dangerosité d'une matière ou d'un objet ainsi que les analyses exigées par le présent règlement, exception faite des analyses déterminant la radioactivité, doivent être effectuées par un laboratoire accrédité par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) en vertu de l'article 118.6 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) et conformément aux méthodes prévues dans la Liste des méthodes d'analyses relatives à l'application des règlements découlant de la Loi sur la qualité de l'environnement publiée par le MDDELCC. »

Des domaines d'accréditation existent cependant pour l'analyse de l'uranium total dans les eaux usées, et pour celles du radium-226 et du plomb-210 dans les eaux potables et usées. Environ huit laboratoires sont actuellement accrédités pour l'analyse de l'uranium total dans les eaux usées alors que trois laboratoires (deux sont situés au Québec et un en Ontario) le sont pour le radium-226 et aucun pour le plomb-210.

Laboratoires accrédités

Au Québec, huit laboratoires sont accrédités pour l'analyse de l'uranium total, et deux laboratoires sont accrédités pour l'analyse d'autres radionucléides, soit le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) et Multilab Direct, un laboratoire d'analyse microbiologique et chimique dont la succursale de Val d'Or détient une accréditation du CEAEQ. Un laboratoire d'analyse de radionucléides, situé à Mississauga (Ontario), est également accrédité par le CEAEQ. Il s'agit de Becquerel Laboratories, un laboratoire spécialisé en radioactivité et capable de mesurer plusieurs radionucléides dans différents types de matrices (sol, eau, air, végétaux, etc.).

Radionucléides et techniques d'analyse

Le tableau suivant présente les laboratoires accrédités pour le tritium et pour les radionucléides naturels (chaînes de l'uranium-238, de l'uranium-235 et du thorium-232) présents dans les matrices liquides.

Radionucléide/ matrice	Domaine d'accréditation	Laboratoire accrédité	Technique d'analyse
Procédures accréditées			
Radium-226 eau potable eaux usées	800 (eau potable)	CEAEQ	Spectrométrie de masse
	850 (eaux usées)		
	800 (eau potable) 850 (eaux usées)	Multilab Direct, Val-d'Or	Scintillation liquide (analyse alpha)
Tritium	800 (eau potable)	Becquerel, Mississauga	Spectrométrie alpha (analyse alpha)
	850 (eaux usées)		
	802 (eau potable)	CEAEQ	
Uranium	802 (eau potable)	Multilab Direct, Val-d'Or	Scintillation liquide (analyse bêta)
	802 (eau potable)	Becquerel, Mississauga	
	14 (eaux usées)	CEAEQ Multilab Direct, Val-d'Or AGAT Laboratoires Exova Canada Inc. Maxxam analytique Biolab Laboratoires d'analyses S.M. Inc. Laboratoire BSL	Spectrométrie de masse

Le tableau suivant présente des analyses qui ne sont pas accréditées, mais qui peuvent être effectuées au CEAEQ ainsi que des procédures qui sont en développement.

Radionucléide/ matrice		Technique d'analyse
Procédures non accréditées		
Alpha bêta brut eau potable eaux usées	Pas d'accréditation, mais l'analyse peut être effectuée au CEAEQ.	Compteur alpha bêta brut (analyse alpha et bêta)
Radon-222 eau potable	Pas d'accréditation, mais l'analyse peut être effectuée au CEAEQ.	Scintillation liquide (analyse alpha)
Radium-228 eau potable	Pas d'accréditation, mais l'analyse peut être effectuée au CEAEQ.	Spectrométrie de masse
Thorium-232 eau potable	Pas d'accréditation, mais l'analyse peut être effectuée au CEAEQ.	Spectrométrie de masse
Uranium-238 eau potable	Pas d'accréditation, mais l'analyse peut être effectuée au CEAEQ.	Spectrométrie de masse
Procédures en développement		
Plomb-210	801 (eau potable), 851(eaux usées)	Procédure en développement
Thorium-234 Thorium-230 Thorium-228		Procédure en développement
Uranium-235		Procédure en développement

Il convient de noter que :

- Becquerel est accrédité pour l'analyse du radium-226 dans l'eau par le CEAEQ, mais ce laboratoire est également accrédité par le Conseil canadien des normes pour l'analyse de nombreux autres paramètres radioactifs tels

que tous les isotopes du thorium naturel et de l'uranium naturel dans l'eau, les sols et les sédiments, et ainsi que le polonium-210, le plomb-210, le plomb-214 et le bismuth-214 dans l'eau.

- Le MDDELCC n'accrédite pas des techniques d'analyse spécifiques, mais plutôt les capacités d'un laboratoire à réaliser une analyse de qualité. Par conséquent, selon les matrices et les limites de détection désirées par le client, différentes techniques peuvent être utilisées.
- Les techniques d'analyse (ainsi que les limites de détection) vont varier selon :
 - la matrice
 - les radionucléides
 - le laboratoire et les instruments utilisés

Question de la commission :

12. Quelle serait la valeur de S correspondant à un 1 kg de roche contenant 0,1 % d'octaoxyde de triuranium (U_3O_8) ? Comment sont pris en compte les isotopes et radionucléides de filiation ?

Réponse :

La valeur de S peut être estimée par calcul de la façon suivante :

- La masse molaire de l'uranium est de 238 g/mol et celle de l'oxygène, de 16 g/mol.
- La masse molaire de l' U_3O_8 est donc de $3 \times 238 + 8 \times 16 = 842$ g/mol.
- La proportion d'uranium dans le U_3O_8 est de $714/842 = 85$ % (p/p)
- 0,1 % équivaut à 1000 mg/kg

Il y a donc 850 mg d'uranium dans une roche de 1 kg contenant 0,1 % d'octaoxyde de triuranium U_3O_8 .

L'uranium naturel contient 99,3 % d'uranium-238 et 0,7 % d'uranium-235.

La roche de 1 kg contient donc 844 mg d'uranium-238 et 6 mg d'uranium-235.

L'activité spécifique de l'uranium-238 est de 12,4 kBq/g; celle de l'uranium-235, 80 kBq/g.

L'activité de l'uranium-238 (U-238) dans la roche de 1 kg est donc de

$$\frac{12,4 \text{ kBq } U - 238}{1000 \text{ mg } U - 238} \times \frac{844 \text{ mg } U - 238}{1 \text{ kg roche}} = 10,5 \text{ kBq } U - 238 / \text{kg de roche}$$

L'activité de l'uranium-235 (U-235) dans la roche de 1 kg est donc de

$$\frac{80 \text{ kBq U} - 235}{1000 \text{ mg U} - 235} \times \frac{6 \text{ mg U} - 235}{1 \text{ kg roche}} = 0,5 \text{ kBq U} - 235 / \text{kg de roche}$$

Ces activités représentent les activités massiques estimées C pour l'uranium-238 et l'uranium-235, et elles sont rapportées dans la seconde colonne de l'Estimation de S pour un échantillon ayant une teneur en U naturel de 850 ppm jointe à la présente.

En posant l'hypothèse d'un équilibre radioactif (équilibre séculaire), l'activité des radioéléments est estimée d'après l'activité des parents, dans ce cas, ceux qui précèdent dans la chaîne de désintégration.

Pour chaque radioélément, la quatrième colonne représente le rapport de l'activité estimée (seconde colonne de cette estimation qui correspond à l'activité massique C dans le RMD), divisée par la norme réglementaire (troisième colonne de cette estimation qui correspond à l'activité massique A, autrement dit, à l'activité maximale mentionnée à l'annexe 1 du RMD).

La somme des rapports pour chaque radioélément correspond à la valeur de S qui est estimée par calcul à 23 dans ce cas.

Rappelons qu'il est aussi possible (et préférable) d'obtenir la valeur de S à partir d'activités mesurées, comme expliqué à la réponse 7. C).

Question de la commission :

13. Quel serait le taux d'émission, en coups par seconde (cps), mesuré par un contaminamètre à proximité (1 m) de roches dont la concentration serait de 0,1 % d'U₃O₈, soit l'équivalent d'environ 850 ppm d'uranium ? Ce taux d'émission reflète-t-il la présence des isotopes et de tous les radionucléides de filiation ? Expliquez.

Réponse :

Le « taux d'émission » a lieu à la source, là où les radionucléides se trouvent et à partir desquels le rayonnement est émis. Lorsque l'on se situe à distance de la source, par exemple à 1 mètre, c'est plutôt un « flux de rayonnement » qui est mesuré.

Le « taux d'émission » d'une source radioactive est fonction de l'activité de cette source, exprimée en Becquerel par exemple (en désintégration par seconde).

1- Activité de la source

Une source formée de 0,1 % d' U_3O_8 , soit environ 850 ppm d'uranium total, est divisée de la manière suivante :

	Uranium-234	Uranium-235	Uranium-238
ppm	0,05	6,12	843,83
% massique	0,0057	0,719	99,275
% en radioactivité	48,9	2,2	48,9

L'activité massique de l'uranium est de 25 524 Becquerels par gramme d'uranium total (25 524 Bq/g).

Il est alors possible de déterminer que 21 696 désintégrations auront lieu à chaque seconde par kilogramme de roche dont la teneur est de 0,1 % d' U_3O_8 . Ces 21 696 désintégrations par seconde sont attribuables aux 3 isotopes naturels de l'uranium.

Près de la moitié des désintégrations seront attribuées à l'uranium-238 (48,9 %) et près de l'autre moitié à l'uranium-234 (48,9 %). À l'équilibre, les descendants de l'uranium possèdent la même activité que leurs parents.

2- Quantité mesurée au détecteur

Les radionucléides sont dispersés à l'intérieur de la roche et ils émettent leurs rayonnements dans toutes les directions (dans l'angle 4π stéradian). Par conséquent :

a. **seulement une fraction du rayonnement émis à l'intérieur de la roche s'échappe de la roche;**

Par exemple, les flux de rayonnement mesurés à 1 mètre au-dessus d'un sol proviennent des radionucléides qui sont situés à l'intérieur des tout premiers cm de profondeur du sol en question¹. Ces distances peuvent varier selon le type de sol ou de roches, selon leur densité et leur composition. En somme, le rayonnement mesuré à un mètre de la roche provient des radionucléides qui sont dispersés dans une fraction seulement de la roche.

Pour un calcul exact, il faudrait connaître la quantité totale de roche présente ainsi que la fraction de la roche à partir de laquelle le rayonnement mesuré est émis.

¹ Environ 50 % du rayonnement provient des radionucléides situés dans les premiers 10 cm, alors qu'environ 80 % du rayonnement provient des radionucléides situés dans les premiers 25 cm.

b. seulement une fraction du rayonnement qui s'échappe de la roche se rend jusqu'au détecteur;

Le rayonnement est émis dans toutes les directions et par conséquent, seulement une fraction du rayonnement, dont le pourcentage ne peut dépasser 50 %, peut entrer en contact avec le détecteur. De plus, plusieurs facteurs vont influencer le flux de rayonnement dans l'environnement, tel que :

- les teneurs en radon et en ses descendants dans l'air;
- le taux d'humidité des matières qui doivent être mesurées;
- les facteurs météorologiques.

c. du rayonnement qui se rend jusqu'au détecteur, seulement une fraction interagira avec ce dernier pour donner un signal (l'autre fraction passe « à travers » le détecteur, sans interagir avec lui, et n'est pas détectée).

Un pourcentage d'efficacité de la mesure et de l'appareil qui sera utilisé doit être connu. Chaque type de détecteur possède un pourcentage d'efficacité typique. Pour une même activité, deux détecteurs donneront des valeurs, en coups par seconde, différentes.

3- Conclusion

Une roche dont la teneur serait de 0,1 % d' U_3O_8 , soit l'équivalent d'environ 850 ppm d'uranium total, posséderait une activité de 21 696 Bq (en uranium total) par kg de roche.

Le flux de rayonnement, en coups par seconde (cps), mesuré par un radiamètre à proximité (1 m) de cette roche ne peut toutefois pas être calculé. Pour évaluer ce flux, il faudrait posséder les informations suivantes :

- type de détecteur;
- efficacité du détecteur.

Et la réponse estimée ne tiendrait pas compte des paramètres suivants :

- dispersion des radionucléides dans la matière d'intérêt;
- composition de la matière, taux d'humidité, etc.;
- facteurs environnementaux (voir 2- b.).

Question de la commission :

14. Quel serait le taux de dose équivalente, en $\mu\text{Sv/h}$ pour une personne à proximité (1m) d'une roche dont la concentration serait de 0,1 % d' U_3O_8 soit l'équivalent d'environ 850 ppm d'uranium? Ce taux de dose prend-il en considération la présence de l'ensemble des isotopes et des produits de filiation de l'uranium ? Expliquez.

Réponse :

Le débit de dose mesuré à proximité d'une source de rayonnement dépend de plusieurs variables, dont les caractéristiques physiques de la source (dimensions, densité, homogénéité, etc.). Si la source est considérée ponctuelle, le débit de dose diminuera avec la distance selon la loi en carré inverse (équation ici-bas). Par exemple, un détecteur placé deux fois plus loin (à la distance d_2) recevra seulement un quart de l'énergie qu'il reçoit lorsqu'il est placé à la distance d_1 . Une source est ponctuelle si sa plus grande dimension est plus petite qu'un cinquième de la distance qui la sépare du détecteur.

$$\text{Débit de dose } 2 = \frac{\text{Débit de dose } 1 [d_1]^2}{[d_2]^2}$$

S'il ne s'agit pas d'une source ponctuelle alors la loi en carrée inverse ne s'applique pas directement. Il faut alors considérer principalement l'atténuation du rayonnement par le milieu et la source elle-même, de même que les facteurs d'accumulation. Il n'est donc pas simple de répondre à cette question sans établir un scénario précis.

Prenons toutefois, à titre d'exemple, une surface plane, dont la teneur est de 0,1 % d' U_3O_8 et où l'uranium et tous ses descendants se retrouvent dispersés uniquement en surface, de façon à ce qu'il n'y ait pas d'auto-absorption (par la matrice, ici une roche) du rayonnement émis. Le débit de dose à 1 mètre de cette surface, qui tient compte de tous les descendants de l'uranium, devrait être de l'ordre de $0,04 \mu\text{Sv/h}$ supérieur au débit de dose ambiant enregistré localement. Par exemple, si le débit de dose ambiant est de $0,06 \mu\text{Sv/h}$, le débit de dose mesuré à 1 mètre de la surface serait de $0,1 \mu\text{Sv/h}$.

Veuillez agréer, Madame, mes salutations distinguées.

Original signé par

Marthe Côté
Coordonnatrice aux projets miniers

ÉVALUATION DE LA RADIOACTIVITÉ EN URANIUM NATUREL (SÉRIES DE U-238 et U-235)
 Estimation de S pour un échantillon ayant une teneur en U naturel de 850 ppm

RADIO-ÉLÉMENT	ACTIVITÉ ESTIMÉE (kBq/kg)	NORME RÉGLEMENTAIRE ¹ (kBq/kg)	RAPPORT ² (Activité/norme)
Série de l'U-238 :			
²³⁸ U	10,5	4,0	2,6
²³⁴ Th	10,5	4,0	2,6
²³⁴ Pa	10,5	4,0	2,6
²³⁴ U	10,5	4,0	2,6
²³⁰ Th	10,5	4,0	2,6
²²⁶ Ra	10,5	4,0	2,6
²²² Rn	10,5	40,0	0,3
²¹⁸ Po	10,5	40,0	0,3
²¹⁴ Pb	10,5	40,0	0,3
²¹⁴ Bi	10,5	40,0	0,3
²¹⁴ Po	10,5	40,0	0,3
²¹⁰ Pb	10,5	4,0	2,6
²¹⁰ Bi	10,5	40,0	0,3
²¹⁰ Po	10,5	4,0	2,6
SOUS-TOTAL			22,6
Série de U-235			
²³⁵ U	0,5	4,0	0,1
²³¹ Th	0,5	4,0	0,1
²³¹ Pa	0,5	4,0	0,1
²²⁷ Ac	0,5	4,0	0,1
²²⁷ Th	0,5	4,0	0,1
²²³ Ra	0,5	40,0	0,0
²¹⁹ Rn	0,5	40,0	0,0
²¹⁵ Po	0,5	40,0	0,0
²¹¹ Pb	0,5	40,0	0,0
²¹¹ Bi	0,5	40,0	0,0
²⁰⁷ Tl	0,5	40,0	0,0
SOUS-TOTAL			0,7
TOTAL DES RAPPORTS DES 2 SÉRIES DE L'URANIUM = S			23,3

1 Les normes sont celles du Règlement sur les matières dangereuses (RMD).

2 Si le total des rapports (valeur S) dépasse 1, une matière visée par le RMD est radioactive selon ce règlement.

L'estimation est basée sur les teneurs naturelles des isotopes de l'uranium présents dans l'uranium naturel ainsi que sur les activités spécifiques de l'U-238 et de l'U-235 en supposant un équilibre radioactif à l'intérieur de chaque série.

Les valeurs utilisées dans les calculs sont les suivantes :

U nat = 99,3 % U-238 + 0,7 % U-235

A spécifique : U-238 = 12,4 kBq/g et U-235 = 80 kBq/g