

Révision des paramètres à analyser et des mesures à effectuer en lien avec la radioactivité émise par les sols

Étude GENV27

Direction de l'analyse économique et des lieux contaminés

Octobre 2015

*Ministère
du Développement durable,
de l'Environnement
et de la Lutte contre les
changements climatiques*

Québec 

CONTEXTE

Dans le cadre de l'évaluation environnementale stratégique sur les hydrocarbures-Anticosti, un besoin relatif à la sélection des paramètres en lien avec la radioactivité naturelle lors de la caractérisation des sols a été établi dans le plan d'acquisition de connaissances (Gouvernement du Québec, 2015).

1. INTRODUCTION

Aucun critère ou valeur limite réglementaire ne figure au Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains ou à la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés relativement à la radioactivité dans les sols. Cependant, certaines activités présentement en essor au Québec, notamment des activités minières, pétrolières et gazières, sont susceptibles de générer certains radionucléides en concentration suffisante pour contaminer les sols.

2. PORTÉE DE L'ÉTUDE

Les radionucléides sont présents à l'état naturel dans les sols. Tenter d'analyser l'activité de chaque radionucléide susceptible de s'y trouver représente un exercice coûteux, particulièrement lorsque les méthodes utilisées doivent permettre de détecter des activités radiologiques du niveau des teneurs de fond.

L'objectif de la présente étude est de cibler les radionucléides les plus pertinents pour la caractérisation initiale des sols, c'est-à-dire avant l'établissement d'une activité d'exploration ou d'exploitation des hydrocarbures pétroliers ainsi que pour la caractérisation finale, c'est-à-dire au moment de la cessation de cette activité. L'exploration et l'exploitation pétrolières et gazières sont des activités visées à l'annexe III du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains.

3. CONSULTATIONS EFFECTUÉES

La liste des radionucléides à analyser lors de la caractérisation des sols a été discutée par le groupe de travail sur la radioactivité naturelle du MDDELCC. Les Pôles d'expertise des secteurs industriel et minier, le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, la Direction du suivi de l'état de l'environnement, la Direction de l'analyse économique et des lieux contaminés et la Direction des matières dangereuses et des pesticides sont membres de ce groupe.

4. NORMES ET EXIGENCES À RESPECTER

- Loi sur la qualité de l'environnement (RLRQ, chapitre Q-2).
- Règlement sur les matières dangereuses (RLRQ, chapitre Q-2, r. 32).
- Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (RLRQ, chapitre Q-2, r. 37).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 1998. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, Québec, Direction des politiques du secteur industriel, ISBN 2-551-18114-3, Envirodoq n° EN980478, 74 p. et 4 annexes.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2014. *Lignes directrices provisoires sur l'exploration gazière et pétrolière*. Québec, Direction des eaux industrielles, ISBN 978-2-550-71115-5, 200 p.

5. ANALYSE

La convention retenue pour noter les radionucléides est d'inscrire la masse en exposant, directement suivie du symbole chimique. Par exemple, l'uranium 238 est noté : « ^{238}U ». Dans ce document, le terme « descendants » réfère à l'ensemble des radionucléides formés à partir d'un radionucléide dit « parent ». L'ensemble du parent et des descendants constitue une « famille ». Un radionucléide peut se transformer directement en un élément stable ou en un autre radionucléide. La radioactivité naturelle des minéraux des sols provient d'un radionucléide (^{40}K qui se transforme directement en un élément stable) et de trois familles (^{235}U , ^{238}U et ^{232}Th) (MDDELCC, 2013). Le tableau de l'annexe I présente les chaînes de désintégration des familles radioactives retrouvées à l'état naturel ainsi que la demi-vie qui leur est associée.

Lorsqu'un parent possède une demi-vie beaucoup plus longue que celle de ses descendants, un équilibre dit « séculaire » peut s'établir, c'est-à-dire que l'activité de tous les radionucléides de la même famille sera la même. Cet équilibre séculaire peut être brisé dans un sol, lorsque le radionucléide parent possède des propriétés physico-chimiques très différentes d'un de ses descendants. C'est le cas si cette différence fait en sorte que le descendant ne se déplace pas de la même façon que son parent dans l'environnement. L'ampleur du phénomène est proportionnelle au temps de demi-vie du descendant. Par exemple, dans un environnement réducteur, le radium est plus soluble que l'uranium (Minty, 1997). Dans la famille de l' ^{235}U , l'équilibre dans le sol est généralement conservé, car le temps de demi-vie du ^{223}Ra est de 11,43 jours et que l'eau souterraine ne transporte pas le radium très loin de l'uranium parent en un si court laps de temps. Par contre, dans la famille de l' ^{238}U , un certain déséquilibre est attendu puisque la demi-vie du ^{226}Ra est de 16 000 années, ce qui laisse amplement de temps à l'eau de déplacer le radium très loin de l'uranium parent.

La caractérisation initiale des sols, avant l'établissement d'activités d'exploration ou d'exploitation pétrolière dans le terrain, permet d'établir les concentrations dans les sols avant le début de l'activité. S'il n'y a jamais eu de contamination anthropique en ce qui concerne la radioactivité, les teneurs obtenues pourront servir de valeurs de référence lors de la caractérisation finale, exigée à la cessation de l'activité en vertu de l'article 31.51 de

la Loi sur la qualité de l'environnement. Les résultats de la caractérisation initiale seront également utilisés s'il y a déversement accidentel d'une matière dangereuse dont la teneur de fond a été préalablement établie dans le terrain. Ils serviront alors d'objectif à atteindre en application de l'article 9 du Règlement sur les matières dangereuses.

Pour ces raisons, tous les paramètres susceptibles de contaminer les sols du terrain au cours des activités prévues doivent être déterminés en amont du projet. Lors de la caractérisation finale, il faudra ajouter aux paramètres analysés lors de la caractérisation initiale, tous les paramètres qui pourraient avoir contaminé le terrain, en fonction de l'activité et des incidents qui se sont produits depuis la caractérisation initiale.

Afin de limiter le nombre d'analyses à effectuer en laboratoire lors d'une caractérisation des sols (initiale ou finale), il est possible d'estimer et/ou de calculer l'activité des sols du terrain pour plusieurs radionucléides.

^{40}K : Pour le ^{40}K , il est possible de faire l'analyse du potassium total (K) et de calculer la quantité de ^{40}K en sachant qu'il compose 0,012 % du potassium naturel dans les sols (Minty, 1997). Ce résultat doit ensuite être converti en le multipliant par l'activité spécifique du ^{40}K qui est de 254 Bq/mg (CEAEQ, 2014) afin d'obtenir l'activité du sol en ^{40}K . Un exemple de ce calcul est présenté à l'annexe II (exemple 1).

Famille ^{235}U : Pour la famille de l' ^{235}U , l'équilibre séculaire peut être présumé dans un sol propre. Il est possible de calculer la concentration en ^{235}U à l'aide d'un résultat en contenu total d'uranium (U) dans le sol, sachant que la composition naturelle d' ^{235}U dans l'U est de 0,72 % (Minty, 1997). Ce résultat doit ensuite être converti en le multipliant par l'activité spécifique d' ^{235}U qui est de 80 Bq/mg (CEAEQ, 2014) afin d'obtenir l'activité du sol en ^{235}U . Un exemple de ce calcul est présenté à l'annexe II (exemple 2). Puisque l'équilibre séculaire est présumé, l'activité estimée sera la même pour tous les radionucléides de la famille.

Famille ^{238}U : L'équilibre séculaire ne peut être présumé (IAEA, 2010; Minty, 1997). L'ensemble de la chaîne de dégradation constituée par cette famille doit être séparé en sous-chaînes à l'intérieur desquelles un équilibre sera vraisemblablement gardé. Les radioéléments à analyser sont les suivants : ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb et ^{210}Po . L'activité mesurée de chacun des parents d'une sous-chaîne peut ensuite être rapportée à chaque radionucléide de cette sous-chaîne afin d'en estimer l'activité, voir l'exemple 3 à l'annexe II.

Famille ^{232}Th : Dans le contexte d'une activité d'exploration ou d'exploitation d'hydrocarbures, l'équilibre séculaire pourrait être rompu au niveau du radium (IAEA, 2010). Il convient donc d'effectuer l'analyse de l'activité de ^{232}Th , ^{228}Ra et ^{228}Th . L'activité mesurée pour le parent d'une sous-chaîne peut ensuite être rapportée à chaque radionucléide de cette sous-chaîne afin d'en estimer l'activité, voir l'exemple 4 à l'annexe II.

Autres paramètres

Si des risques de contamination sont identifiés pour certains radionucléides autres que ceux sélectionnés ci-dessus, l'activité de chacun d'entre eux devra être soit analysée, calculée ou estimée. Si l'analyse de l'activité du radionucléide est disponible en laboratoire, elle devra être privilégiée. Dans le cas contraire, l'activité du radionucléide pourra être déduite d'une analyse en contenu total ou de l'analyse de l'activité d'un radionucléide parent. Tous les calculs et les hypothèses devront être justifiés avec les références pertinentes à l'appui.

Limites de détection

Les méthodes d'analyse utilisées doivent être suffisamment sensibles pour détecter l'activité massique des teneurs naturelles des sols à caractériser. À titre indicatif, pour une concentration en contenu total de 2,7 mg/kg d'U et de 8,5 mg/kg de Th (soit les moyennes de la croûte terrestre) (Minty, 1997) dans un sol, une activité massique de 0,033 kBq/kg pour les radioéléments de la chaîne de ^{238}U et de 0,035 kBq/kg pour les radioéléments de la chaîne du ^{232}Th est attendue.

RECOMMANDATIONS

Les paramètres d'analyse nécessaires à la caractérisation de la radioactivité dans les sols, dans un contexte d'exploration/exploitation d'hydrocarbures pétroliers, totalisent neuf radionucléides dont il faut obtenir l'activité dans les échantillons en laboratoire et deux éléments dont il faut obtenir le contenu total en laboratoire puis estimer l'activité en la calculant à partir de ces résultats. Ces paramètres sont indiqués au tableau ci-dessous :

Paramètres d'analyses demandées

^{40}K (contenu total)	Famille ^{235}U (contenu total)	Famille ^{238}U (activité)	Famille ^{232}Th (activité)
K	U	^{238}U	^{232}Th
		^{234}U	^{228}Th
		^{230}Th	^{228}Ra
		^{226}Ra	
		^{210}Pb	
		^{210}Po	

À ces paramètres, doivent être ajoutés tous ceux susceptibles d'avoir contaminé le terrain.

Les méthodes d'analyse utilisées doivent être suffisamment sensibles pour détecter l'activité massique des teneurs naturelles des sols à caractériser.

RÉFÉRENCES

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2014. *Procédure d'évaluation du risque radiotoxique*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 27 p. et 6 annexes.

Gouvernement du Québec, 2015. *Évaluations environnementales stratégiques sur les hydrocarbures-ÉES-Anticosti, Synthèse des connaissances et plan d'acquisition des connaissances additionnelles*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, ISBN (PDF) 978-2-550-72738-5, 113 p.

International Atomic Energy Agency (IAEA), 2010. *Radiation protection and the management of radioactive waste in the oil and gas industry*, Vienne, Radiation safety and monitoring section, ISSN 1018-5518, 218 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2013. *Radioactivité 101*, Direction du suivi de l'état de l'environnement 13 p. et 1 annexe.

Minty, B.R.S., 1997. « Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry », *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, vol. 12, n° 2, p. 39-50.

Rédigée par :

Hélène Houde, spécialiste en sciences physiques

ANNEXE I

Tableau 1 : Familles radioactives naturelles (adapté de MDDELCC, 2013)

⁴⁰ K			Famille ²³⁸ U			Famille ²³² Th		
Élément chimique		Demi-vie	Élément chimique		Demi-vie	Élément chimique		Demi-vie
Potassium 40	⁴⁰ K	1,3 x 10 ⁹ a	Uranium 238	²³⁸ U	4,5x10 ⁹ a	Thorium 232	²³² Th	1,4x10 ¹⁰ a
Famille ²³⁵ U			Thorium 234	²³⁴ Th	24 j	Radium 228	²²⁸ Ra	5,7 a
Élément chimique		Demi-vie	Protactinium 234	²³⁴ Pa	1,2 min	Actinium 228	²²⁸ Ac	6,1 h
Uranium 235	²³⁵ U	7,04 x 10 ⁸ a	Uranium 234	²³⁴ U	2,5 x 10 ⁵ a	Thorium 228	²²⁸ Th	1,9 a
Thorium 231	²³¹ Th	25,2 h	Thorium 230	²³⁰ Th	7,7 x10 ⁴ a	Radium 224	²²⁴ Ra	3,7 j
Protactinium 231	²³¹ Pa	3,25 x 10 ⁴ a	Radium 226	²²⁶ Ra	1 600 a	Radon 220	²²⁰ Rn	55,6 s
Actinium 227	²²⁷ Ac	21,8 a	Radon 222	²²² Rn	3,8 j	Polonium 216	²¹⁶ Po	0,15 s
Thorium 227	²²⁷ Th	18,7 j	Polonium 218	²¹⁸ Po	3,1 min	Plomb 212	²¹² Pb	10,6 h
Radium 223	²²³ Ra	11,43 j	Plomb 214	²¹⁴ Pb	27 min	Bismuth 212	²¹² Bi	61 min
Radon 219	²¹⁹ Rn	3,96 s	Bismuth 214	²¹⁴ Bi	20 min	Polonium 212	²¹² Po	3 x 10 ⁻⁷ s
Polonium 215	²¹⁵ Po	1,78 x 10 ⁻³	Polonium 214	²¹⁴ Po	1,6 x 10 ⁻⁴ s	Thallium 208	²⁰⁸ Tl	3,1 min
Plomb 211	²¹¹ Pb	36,1min	Plomb 210	²¹⁰ Pb	22,3 a	Plomb 208	²⁰⁸ Pb	Stable
Bismuth 211	²¹¹ Bi	2,15 min	Bismuth 210	²¹⁰ Bi	5 j			
Thallium 207	²⁰⁷ Tl	4,77 min	Polonium 210	²¹⁰ Po	138 j			
Plomb 207	²⁰⁷ Pb	Stable	Plomb 206	²⁰⁶ Pb	Stable			

ANNEXE II

Exemple 1 : Calcul de l'activité de ^{40}K dans le sol à l'aide du résultat d'analyse en contenu total (K_{total}).

Constantes

Activité spécifique de ^{40}K : 254 Bq/mg de ^{40}K

Ratio naturel de $^{40}\text{K}/K_{\text{total}}$: 0,012 %

Résultat d'analyse

20 000 mg de K_{total} /kg de sol

Méthode

1. Trouver la concentration de ^{40}K présente dans l'échantillon de sol.
2. Trouver l'activité de ^{40}K dans l'échantillon de sol.

Calculs

1. Concentration de ^{40}K dans le sol =

(résultat d'analyse) * (ratio naturel) =

$$\frac{20\,000 \text{ mg de } K_{\text{total}}}{1 \text{ kg de sol}} * \frac{0,012 \text{ mg de } ^{40}\text{K}}{100 \text{ mg de } K_{\text{total}}} = 2,4 \text{ mg de } ^{40}\text{K/kg de sol}$$

2. Activité de ^{40}K dans le sol =

(concentration ^{40}K dans sol) * (activité spécifique ^{40}K) =

$$\frac{2,4 \text{ mg de } ^{40}\text{K}}{1 \text{ kg de sol}} * \frac{254 \text{ Bq de } ^{40}\text{K}}{1 \text{ mg de } ^{40}\text{K}} = 610 \text{ Bq de } ^{40}\text{K/kg de sol} = \mathbf{0,610 \text{ Bq } ^{40}\text{K/g de sol}}$$

Exemple 2 : Calcul de l'activité d'²³⁵U dans le sol à l'aide du résultat d'analyse en contenu total (U_{total}).

Constantes

Activité spécifique d'²³⁵U : 80 Bq/mg d'²³⁵U
Ratio naturel d'²³⁵U/U_{total} : 0,72 %

Résultat d'analyse

2 mg d'U_{total}/kg de sol

Méthode

1. Trouver la concentration d'²³⁵U présente dans l'échantillon de sol.
2. Trouver l'activité d'²³⁵U dans l'échantillon de sol.

Calculs

1. Concentration d'²³⁵U dans le sol =

(résultat d'analyse) * (ratio naturel) =

$$\frac{2 \text{ mg de U}_{\text{total}}}{1 \text{ kg de sol}} * 0,72 \text{ mg d}'^{235}\text{U} / 100 \text{ mg d}'^{235}\text{U} = 0,0144 \text{ mg d}'^{235}\text{U/kg de sol}$$

2. Activité d'²³⁵U dans le sol =

(concentration ²³⁵U dans sol) * (activité spécifique ²³⁵U) =

$$\frac{0,0144 \text{ mg d}'^{235}\text{U}}{1 \text{ kg de sol}} * \frac{80 \text{ Bq d}'^{235}\text{U}}{1 \text{ mg d}'^{235}\text{U}} = 1,15 \text{ Bq d}'^{235}\text{U/kg de sol}$$

$$= 0,00115 \text{ Bq d}'^{235}\text{U/g de sol}$$

Exemple 3 : Le tableau suivant présente un exemple de résultats d'analyse (en gras) avec des valeurs estimées (en gris) pour la famille d' ^{238}U .

Les radionucléides de la chaîne de désintégration de la famille d' ^{238}U figurent dans la première colonne. Les parents des sous-chaînes, paramètres dont l'analyse de l'activité en laboratoire est demandée, figurent en gras. Les radionucléides de filiation des sous-chaînes, paramètres pour lesquels l'activité est estimée à partir de celle du parent de la sous-chaîne, sont légèrement décalés vers la droite, sous le parent.

Les chiffres en gras de la seconde colonne sont les résultats d'analyse des paramètres dont l'analyse est demandée, les parents des sous-chaînes.

Les chiffres en gris de la troisième colonne sont des valeurs estimées à partir des résultats d'analyse du parent de la sous-chaîne à laquelle appartient le radionucléide de filiation.

Famille ^{238}U

Radionucléide chaîne ^{238}U	Activité dans le sol (Bq/g)	
	analysée	estimée
^{238}U	0,021	
^{234}Th		0,021
^{234}Pa		0,021
^{234}U	0,025	
^{230}Th	0,03	
^{226}Ra	0,03	
^{222}Rn		0,03
^{218}Po		0,03
^{214}Pb		0,03
^{214}Bi		0,03
^{214}Po		0,03
^{210}Pb	0,14	
^{210}Bi		0,14
^{210}Po	0,10	
La fin de la chaîne est atteinte avec ^{206}Pb qui est stable.		

Exemple 4 : Le tableau suivant présente un exemple de résultats d'analyse (en gras) avec des valeurs estimées (en gris) pour la famille de ^{232}Th .

Les radionucléides de la chaîne de désintégration de la famille de ^{232}Th figurent dans la première colonne. Les parents des sous-chaînes, paramètres dont l'analyse de l'activité en laboratoire est demandée, figurent en gras. Les radionucléides de filiation des sous-chaînes, paramètres pour lesquels l'activité est estimée à partir de celle du parent de la sous-chaîne, sont légèrement décalés vers la droite, sous le parent.

Les chiffres en gras de la seconde colonne sont les résultats d'analyse des paramètres dont l'analyse est demandée, les parents des sous-chaînes.

Les chiffres en gris de la troisième colonne sont des valeurs estimées à partir des résultats d'analyse du parent de la sous-chaîne auquel appartient le radionucléide de filiation.

Famille ^{232}Th

Radionucléide chaîne ^{232}Th	Activité dans le sol (Bq/g)	
	analysée	estimée
^{232}Th	0,02	
^{228}Ra		0,02
^{228}Ac		0,02
^{228}Th	0,04	
^{224}Ra		0,04
^{226}Ra	0,03	
^{220}Rn		0,03
^{216}Po		0,03
^{212}Pb		0,03
^{212}Bi		0,03
^{212}Po		0,03
^{208}Tl		0,03
La fin de la chaîne est atteinte avec ^{208}Pb qui est stable.		