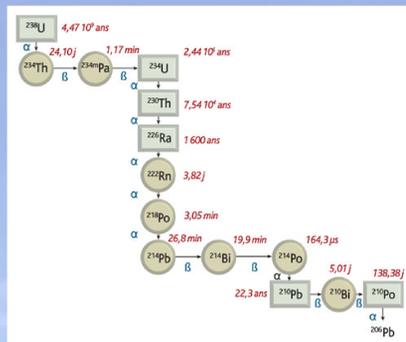


INTRODUCTION

Le Québec possède un grand potentiel pour l'exploitation minière de l'uranium (figure 1) et des métaux de terres rares. Le gouvernement québécois évalue actuellement la possibilité d'autoriser l'exploitation de ces ressources. Malgré le fait que leur exploitation sera régit par différentes directives et obligations, comme ces minerais contiennent des teneurs non négligeables en radionucléides, des concentrations résiduelles pourraient se retrouver dans le milieu environnant. Outre l'uranium, il convient de considérer ses principaux descendants (figure 2), notamment le thorium et le radium. Étant donné que leur toxicité est peu connue, il apparaît nécessaire d'acquérir des connaissances sur le potentiel toxique de ces radionucléides.

Figure 2 - Chaîne de désintégration de l'uranium



OBJECTIFS

Ce projet a pour objectif d'évaluer la toxicité des principaux radionucléides en milieu aquatique, à des concentrations représentatives de celles retrouvées au pourtour d'un environnement minier. Cette affiche présente les premiers résultats obtenus.

MÉTHODOLOGIE

Tableau 1 - Essais de toxicité monospécifique réalisés

Essais de toxicité réalisés	
Inhibition de la croissance chez l'algue <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , 96 heures [CEAEQ, MA. 500—P.sub 1.0, 2015]	
Inhibition de la croissance de la plante macroscopique dulcicole <i>Lemna minor</i> , 7 jours [Environnement Canada, EPS 1/RM/37, 2007]	
Détermination de la toxicité létale chez <i>Daphnia magna</i> , 48 heures [CEAEQ, MA. 500—D. mag 1.1, 2011]	
Inhibition de la reproduction chez <i>Daphnia magna</i> , 21 jours [CEAEQ, Méthode non publiée]	
Essai de létalité aiguë sur la truite arc-en-ciel <i>Oncorhynchus mykiss</i> , 96 heures [Environnement Canada, EPS 1/RM/9, 2007]	

Différents essais de toxicité ont été réalisés (tableau 1).
Les essais ont été effectués sur :
1) une eau douce artificielle;
2) une eau oligotrophe, afin de refléter les conditions prévalant dans les écosystèmes typiques des milieux nordiques;
3) des lixiviats produits à partir de cinq échantillons de résidus miniers issus de minerais riches en radionucléides (numérotés de 1 à 5 dans le tableau 2), afin de simuler les eaux de ruissellement de résidus miniers.

Une solution étalon de thorium (1000 mg/l) et de ²²⁶Ra ont été utilisés pour réaliser les essais avec ces deux radionucléides.

Les principales propriétés physico-chimiques des eaux sont résumées au tableau 2.

Tableau 2 - Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Type d'eau	Propriétés physico-chimiques				
Eau douce artificielle	Dureté = 170 mg/l pH = 6,7		[Th] : 0 – 1 000 µg/l [Ra] : 0 – 100 Bq/l		
Eau oligotrophe	Dureté = 17 mg/l pH = 6,0				
Eaux de lixiviation	1	2	3	4	5
	Dureté = 30 mg/l pH = 9,2 U ²³⁸ = 0,29 ± 0,05 ng/l Th ²³² = 0,14 ± 0,02 ng/l Ra ²²⁶ = Résultat à venir Pb ²¹⁰ ≤ 1,59 mBq/l	Dureté = 200 mg/l pH = 8,6 U ²³⁸ = 1,34 ± 0,1 ng/l Th ²³² = 3,87 ± 0,68 ng/l Ra ²²⁶ = Résultat à venir Pb ²¹⁰ ≤ 1,59 mBq/l	Dureté = 67 mg/l pH = 7,6 U ²³⁸ = 0,64 ± 0,10 ng/l Th ²³² = 2,64 ± 0,47 ng/l Ra ²²⁶ = Résultat à venir Pb ²¹⁰ ≤ 1,59 mBq/l	Dureté = 166 mg/l pH = 8,0 U ²³⁸ = 1,71 ± 0,30 ng/l Th ²³² = 1,90 ± 0,34 ng/l Ra ²²⁶ = Résultat à venir Pb ²¹⁰ ≤ 1,59 mBq/l	Dureté = 153 mg/l pH = 8,1 U ²³⁸ = 1,87 ± 0,33 ng/l Th ²³² = 1,64 ± 0,29 ng/l Ra ²²⁶ = Résultat à venir Pb ²¹⁰ ≤ 1,59 mBq/l

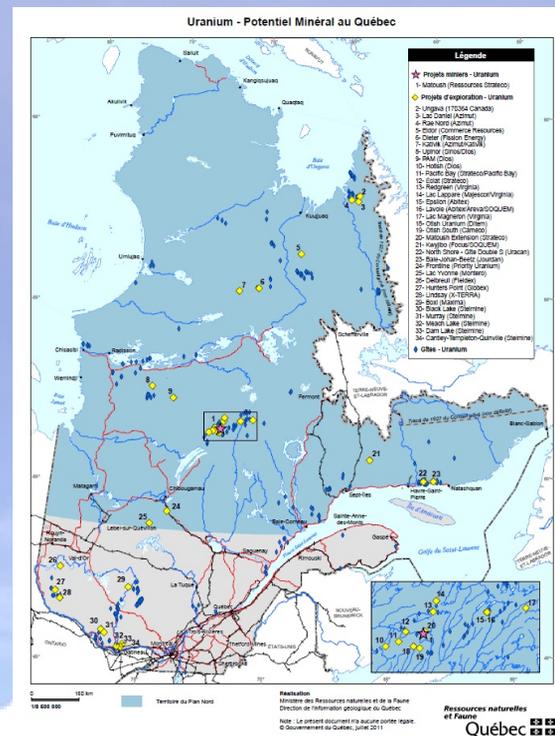


Figure 1 - Ressources uranifères au Québec

RÉSULTATS

Les résultats des essais monospécifiques réalisés jusqu'à maintenant sont présentés au tableau 3, ainsi qu'aux figures 3 à 5.

Jusqu'à présent, les résultats montrent que :

- la croissance de l'algue unicellulaire *P. subcapitata* est inhibée uniquement dans les eaux de lixiviation d'un seul type de résidus miniers;
- la croissance du macrophyte *Lemna minor* est affectée en présence de thorium et de radium, dans les eaux oligotrophes (figures 3 et 4);
- la mobilité et la survie de *D. magna* est affectée uniquement en présence de thorium, dans les eaux oligotrophes (figure 5).

Tableau 3 - Sommaire des essais monospécifiques

Organisme	Paramètre	Thorium		Radium		Eaux de lixiviation				
		Eau douce artificielle	Eau oligotrophe	Eau douce artificielle	Eau oligotrophe	1	2	3	4	5
<i>P. subcapitata</i>	Croissance	Essai à effectuer		N.E	Essai à effectuer	Stimulation	Stimulation	N.E	Stimulation	Cl ₅₀ = 99 %
<i>L. minor</i>	Croissance	N.E	CE ₅₀ ≈ 400 µg/l	N.E	CE ₅₀ ≈ 55 Bq/l	Essai à effectuer				
<i>D. magna</i>	Mobilité	N.E	CE ₅₀ = 70 µg/l	N.E	Essai à effectuer	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
	Reproduction	Essai à effectuer		N.E		Stimulation	Stimulation	Essai à effectuer	Stimulation	
	Survie	N.E	CL ₅₀ = 78 µg/l	N.E		N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
<i>O. mykiss</i>	Survie	Essai à effectuer		N.E	Essai à effectuer	Essai à effectuer				

(N.E): Aucun effet significatif observé

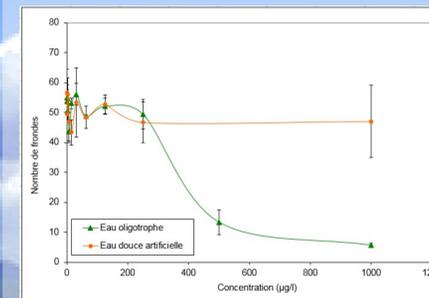


Figure 3 - Croissance de *Lemna minor* en présence de thorium

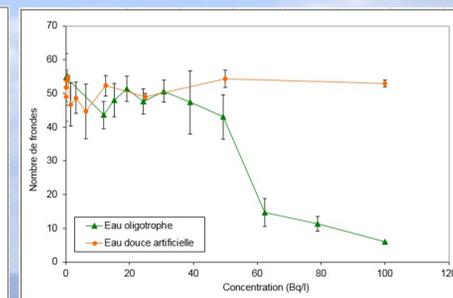


Figure 4 - Croissance de *Lemna minor* en présence de radium

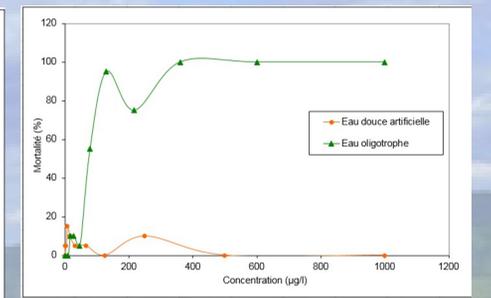


Figure 5 - Survie de *Daphnia magna* en présence de thorium

DISCUSSION

Les résultats montrent que, dans les conditions expérimentales testées, le radium et le thorium sont plus toxiques dans l'eau oligotrophe, par rapport à l'eau douce artificielle ou aux eaux de lixiviation. Les principales différences entre ces eaux sont la dureté et le pH. Les résultats obtenus mettent ainsi en évidence l'influence des anions et des cations présents dans la colonne d'eau sur la biodisponibilité des radionucléides. En effet, lorsque le pH augmente, le radium forme des complexes avec les carbonates, ce qui réduit sa biodisponibilité. De plus, l'augmentation de la dureté peut contribuer à réduire la toxicité en raison de la compétition entre les ions Ca²⁺ et Ra²⁺ pour la liaison avec les sites de transport membranaire. Il en va de même pour les autres éléments étudiés, dont le thorium. Ainsi, la différence de pH et de dureté entre le milieu oligotrophe et celui d'eau douce artificielle peut expliquer les résultats obtenus.

Les résultats de toxicité pour le thorium dans l'eau douce artificielle sont comparables à ceux retrouvés dans la littérature (tableau 4). Aucune information sur la toxicité du radium pour les organismes aquatiques n'a pour sa part été répertoriée dans la littérature.

Tableau 4 - Toxicité du thorium en milieu aquatique

Organisme	Paramètre	Exposition	Type d'eau	Concentration (mg/l)	Effet	Référence
<i>Monoraphidium sp.</i>	Croissance	30 jours	Eau douce artificielle	10	Inhibition de 16 %	Queiroz <i>et al.</i> , 2012
				25	Inhibition de 26 %	
				80	Inhibition de 80 %	
				100	Inhibition de 80 %	
				1.0	Stimulation de 61 %	
<i>Chlorella vulgaris</i>	Croissance	4 mois	Eau douce artificielle	0,8	CSEO	Dien Dooren de Jong (1965)
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck (souche thermophile)	Croissance	24 h	Eau douce artificielle	0,0004	CSEO	Evseeva <i>et al.</i> , 2010
				0,0005	CSEO	
				0,0036	CE ₅₀	
<i>Hyalella azteca</i>	Mortalité	96 h	Eau douce artificielle avec 18 mg/l de CaCO ₃	0,0052	Cl ₅₀	Borgmann <i>et al.</i> , 2005
Eau douce artificielle avec 124 mg/l de CaCO ₃	3,15					

PERSPECTIVES

- Compléter les essais de toxicité monospécifique sur les différents types d'eaux;
- Effectuer des essais à l'aide d'organismes benthiques et épibenthiques (ex.: *Hyalella azteca* et *Chironomus riparius*);
- Déterminer les effets sous-létaux des radionucléides chez les différents organismes (analyses de biomarqueurs; essais des comètes; mesures de la chlorophylle chez les algues...);
- Selon l'état d'avancement du projet, l'organisme le plus sensible pourra être utilisé pour quantifier les effets protecteurs d'ions compétiteurs (H⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) retrouvés en milieu naturel.