

BAPE Générique - Uranium



EXPOSITION ET TOXICITÉ POUR LA FAUNE ET LA FLORE AVOISINANT UNE MINE D'URANIUM

Nathalie Paquet¹, Vincent Veilleux², Isabelle Guay²
et Gaëlle Triffault-Bouchet¹

¹ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

² Direction du suivi de l'état de l'environnement

4 septembre 2014

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Plan de la présentation

1. Contaminants préoccupants
2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore
3. Effets potentiels des radionucléides
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
4. Outils de quantification du risque
5. Conclusion

Plan de la présentation

1. **Contaminants préoccupants**
2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore
3. Effets potentiels des radionucléides
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
4. Outils de quantification du risque
5. Conclusion

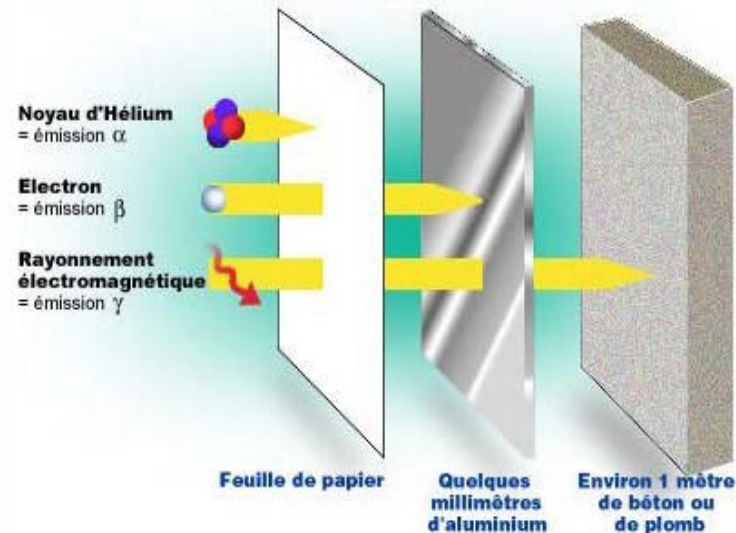
Contaminants préoccupants

- Les contaminants préoccupants dans un dossier minier donné dépendent du type de minerai, du procédé et des additifs utilisés.
- De façon générale, pour les rejets miniers, les contaminants préoccupants sont :
 - Les métaux et métalloïdes (notamment arsenic, cuivre, plomb, molybdène, nickel, sélénium, uranium, vanadium);
 - Différentes formes d'azote;
 - Les solides dissous totaux, incluant les anions (ex. chlorures, sulfates) et les cations (ex. calcium) majeurs.

Contaminants préoccupants

- Dans le cas d'une mine d'uranium, il faut considérer, en plus des contaminants habituellement générés par une activité minière, la présence de radionucléides, qui émettent des rayonnements :

- alpha (α)
- bêta (β)
- gamma (γ)

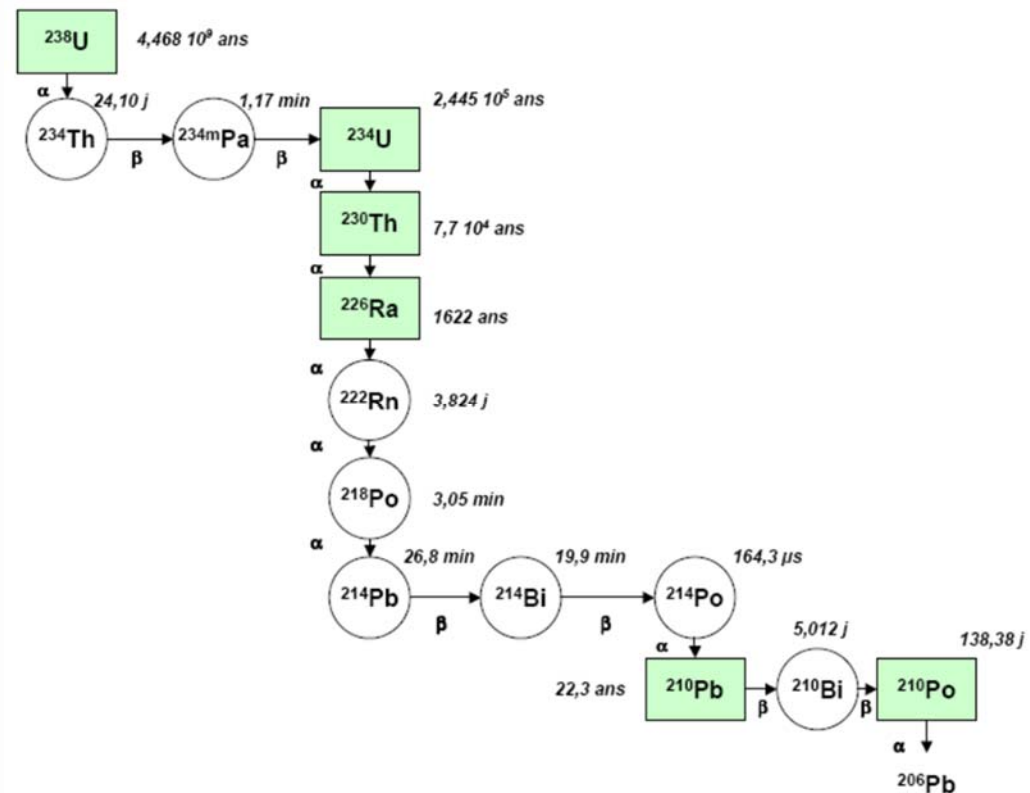


- La communauté scientifique considère qu'a priori, les radionucléides qui peuvent induire des effets non négligeables sur la faune et la flore sont ceux qui ont une demi-vie supérieure à 10 jours.

Contaminants préoccupants

- Dans le cas de projet d'exploration de l'uranium, les radionucléides à considérer sont :

- Uranium (α)
- Thorium (α , β)
- Radium (α)
- Plomb (β)
- Polonium (α)



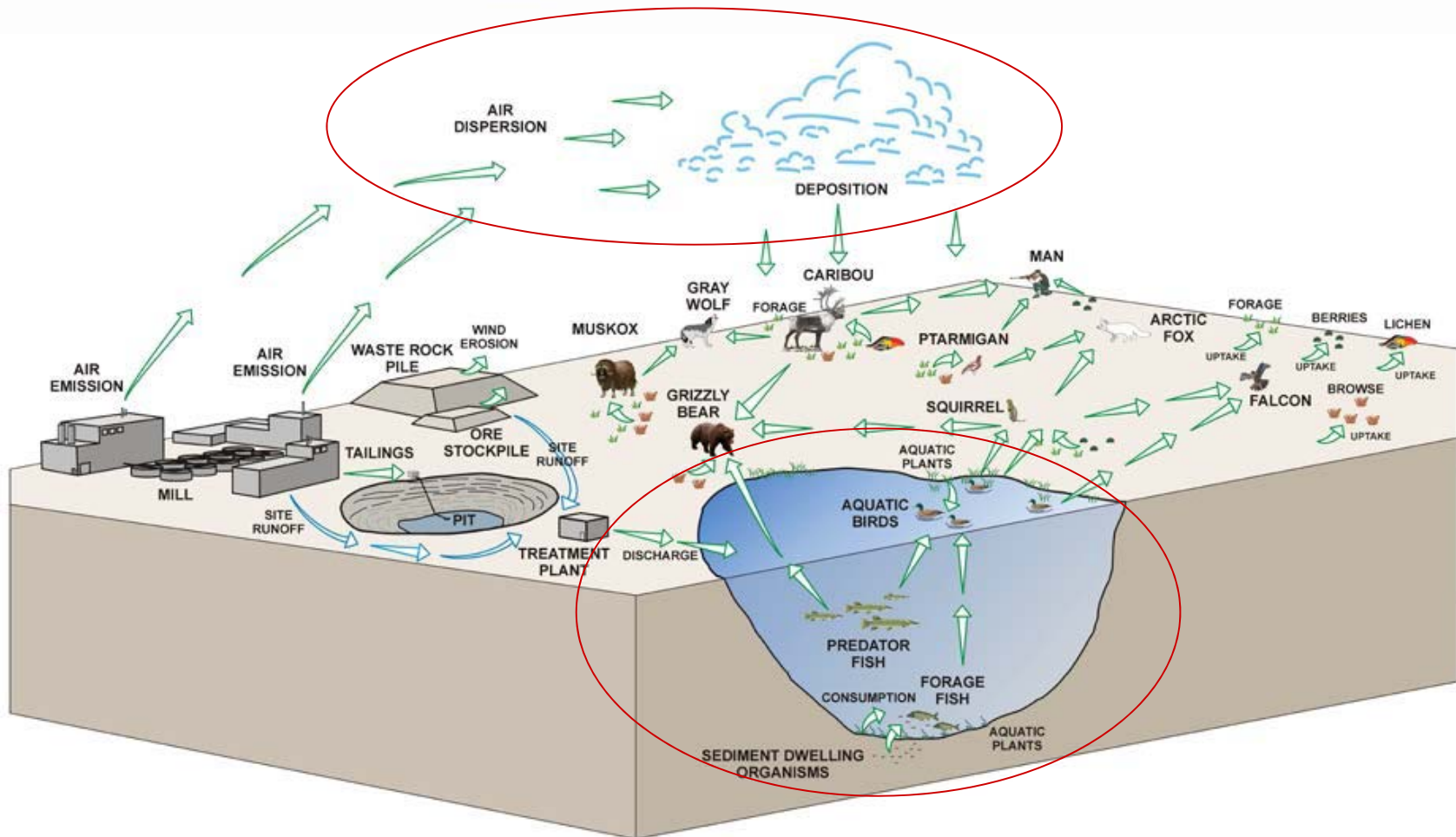
Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Plan de la présentation

1. Contaminants préoccupants
- 2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore**
3. Effets potentiels des radionucléides
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
4. Outils de quantification du risque
5. Conclusion

Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore



Source : Areva, 2011, Kiggavik project – Environmental Impact Statement, Tier 3 Technical appendix 8A, Ecological and human health risk assessment.

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec

Plan de la présentation

1. Contaminants préoccupants
2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore
- 3. Effets potentiels des radionucléides**
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
4. Outils permettant de quantifier le risque
5. Conclusion

Effets potentiels des radionucléides

- Informations en milieu terrestre colligées dans :
 - Revue de littérature sur la toxicité chimique et la bioaccumulation de l'[uranium](#) chez les organismes terrestres.
 - Revue de littérature sur la bioaccumulation et la toxicité du [thorium](#) chez les organismes terrestres et aquatiques.
 - Revue de littérature sur la bioaccumulation et la toxicité du [radium](#) chez les organismes terrestres et aquatiques.
 - Revue de littérature sur la bioaccumulation et la toxicité du [polonium](#) chez les organismes terrestres et aquatiques.

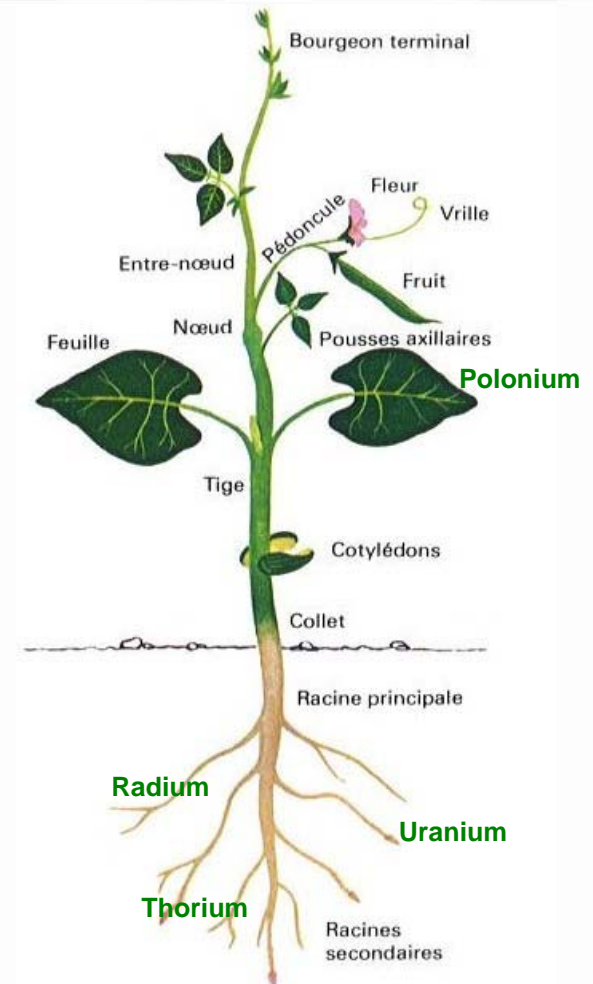
Effets potentiels des radionucléides

- **Documentation consultée :**
- Articles scientifiques issues de revues spécialisées, avec révision par les pairs:
 - Plus de 200 sur l'uranium
 - Près de 100 sur le thorium
 - Près de 140 sur le radium
 - Près de 250 sur le polonium
- Rapports scientifiques des spécialistes en radioécologie :
 - Institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN, France)
 - Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN, Canada)
 - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)
 - International Commission on Radiological Protection (ICRP)
 - International Atomic Energy Agency (IAEA)
 - ...

Effets potentiels des radionucléides

Accumulation en milieu terrestre

- **Pour les végétaux**
- **Uranium:** Accumulation plus élevée dans les racines que dans les feuilles et la tige;
- **Thorium:** Accumulation dans les racines et absence de translocation vers les parties aériennes;
- **Radium:** Accumulation au niveau des racines; très peu dans les feuilles et les fruits.
- **Polonium:** Accumulation de façon préférentielle dans les feuilles; très peu dans les racines, les graines et les fruits. Il n'y a pas (ou peu) de translocation à l'intérieur de la plante.



*Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques*

Québec 

Effets potentiels des radionucléides

Accumulation en milieu terrestre

■ Pour les oiseaux

- **Uranium:** Accumulation dans les reins;
- **Thorium:** Information non disponible; se fixe probablement aux os, comme chez les mammifères;
- **Radium:** Accumulation dans les os et très peu dans les tissus mous;
- **Polonium:** Accumulation importante au niveau du foie et faible dans les muscles.



Effets potentiels des radionucléides

Accumulation en milieu terrestre

- **Pour les mammifères**
 - **Uranium:** Accumulation dans les os, les reins, le foie et la rate;
 - **Thorium:** Près de 95 % de la quantité ingérée est excrétée en quelques jours; Se fixe de façon préférentielle aux os;
 - **Radium:** Jusqu'à 99 % de la quantité ingérée est éliminée chez le rat; Accumulation dans les dents et les os;
 - **Polonium:** Se lie aux globules rouges dans le sang et se distribue dans les tissus bien irrigués, comme le foie, la rate, les reins et la moelle osseuse.



Effets potentiels des radionucléides

Accumulation en milieu terrestre

■ Bioconcentration

- Capacité d'un contaminant à se concentrer dans un organisme : la concentration devient plus importante dans l'organisme par rapport à son environnement ce qui peut entraîner l'apparition d'effets néfastes.
- Exprimée par un facteur de bioconcentration qui correspond au ratio de la concentration du contaminant dans l'organisme sur la concentration du contaminant dans le milieu.

Effets potentiels des radionucléides

Accumulation en milieu terrestre

■ Facteurs de bioconcentration

	Végétaux	Oiseaux	Mammifères
Arsenic	< 1	-	< 1
Cadmium	< 1	-	< 1
Mercure	< 1	-	< 1
Uranium	< 1 à 4,5	1	< 1
Thorium	< 1	-	-
Radium	< 1	< 1	-
Polonium	< 1 à 4	< 1 à 6,4	< 1

- Quelques données semblent indiquer que l'uranium et le polonium peuvent se bioconcentrer dans les plantes et les oiseaux, mais à de faibles niveaux.

Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu terrestre

■ Uranium

- **Végétaux:** Selon les espèces, une stimulation de la croissance a été observée jusqu'à 50 mg/kg, alors qu'une diminution de la biomasse et/ou de la croissance a été observée jusqu'à 14 900 mg/kg.

Concentration naturelle	1 à 5,5 mg/kg de sol
Résidus miniers	3 à 572 mg/kg de sol

- **Oiseaux:** Peu de d'études disponibles (n = 3) : lésions rénales et hépatiques chez la caille et mortalité chez le poussin.
- **Mammifères:** Grande variabilité de réponse selon la forme d'uranium présente : lésions rénales, diminution de l'espérance de vie, perte de poids et diminution du succès reproducteur.

Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu terrestre

■ Thorium

- **Végétaux:** Inhibition de la croissance chez différentes espèces (ex. : cresson, piment) à des concentrations au-dessus de 5260 Bq/kg. Données tirées d'une seule étude.
- **Oiseaux:** Information non disponible chez les oiseaux.
- **Mammifères:** Études par exposition par ingestion limitées et datant de nombreuses années. De la mortalité et une baisse du poids corporel ont été observées.

Concentration naturelle	25 à 48 Bq/kg de sol
Résidus miniers	Jusqu'à 1240 Bq/kg de sol

Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu terrestre

■ Radium

- **Végétaux et oiseaux:**
Information non disponible.
- **Mammifères:** sarcomes osseux, problèmes dentaires, perte de poids et diminution de l'espérance de vie ont été observés à la suite d'une exposition par ingestion.

Concentration naturelle	16 à 48 Bq/kg de sol
Résidus miniers	37 à 137 000 Bq/kg de sol

Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu terrestre

■ Polonium

- **Végétaux et oiseaux:**
Information non disponible.

- **Mammifères:** Toxicité observée au niveau du système digestif (estomac, foie) et des reins à la suite de l'ingestion de polonium.

Concentration naturelle	10 à 200 Bq/kg de sol
Résidus miniers	Jusqu'à 22 000 Bq/kg de sol

Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore - Rappel

Faune et flore

- Organismes terrestres piscivores
- Organismes aquatiques – eau et sédiments

Humains

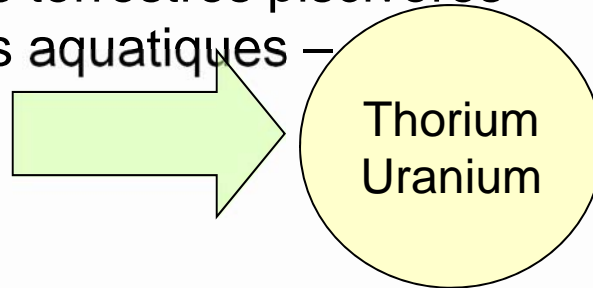
- Consommation de poisson, mollusques et crustacés
- Autres usages



Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore - Rappel

Faune et flore

- Organismes terrestres piscivores
- Organismes aquatiques – sédiments



Humains

- Consommation de poisson, mollusques et crustacés
- Autres usages



Effets potentiels des radionucléides

Milieu aquatique

Information notamment tirée de:

- Revue de littérature sur les Effets de l'**uranium** sur la vie aquatique et détermination de critères de qualité de l'eau de surface (MENV, 2002)
- Recommandations canadiennes pour la protection de la qualité des eaux: protection de la vie aquatique – **Uranium** (CCME, 2011)
- Rapports techniques et scientifiques pour tous les radionucléides:
 - *Uranium Mining in Virginia*, NRC, 2012
 - et ceux déjà mentionnés



Effets potentiels des radionucléides

Bioaccumulation en milieu aquatique

Facteurs de bioconcentration/bioaccumulation

	Invertébrés	Chair de poissons	Poissons entiers
Uranium	1– 10 000	< 10 Peu dans les muscles	< 20 Surtout dans les os et les écailles
Thorium	20 000	---	57-1180
Radium	143 – 33 000	Peu dans les muscles	0,4- 1200 Surtout dans les os
Polonium	2 000 – 240 000	Peu dans les muscles	100 à 10 000 Surtout dans les viscères

Effets potentiels des radionucléides

Bioaccumulation en milieu aquatique

Facteurs de bioconcentration/bioaccumulation

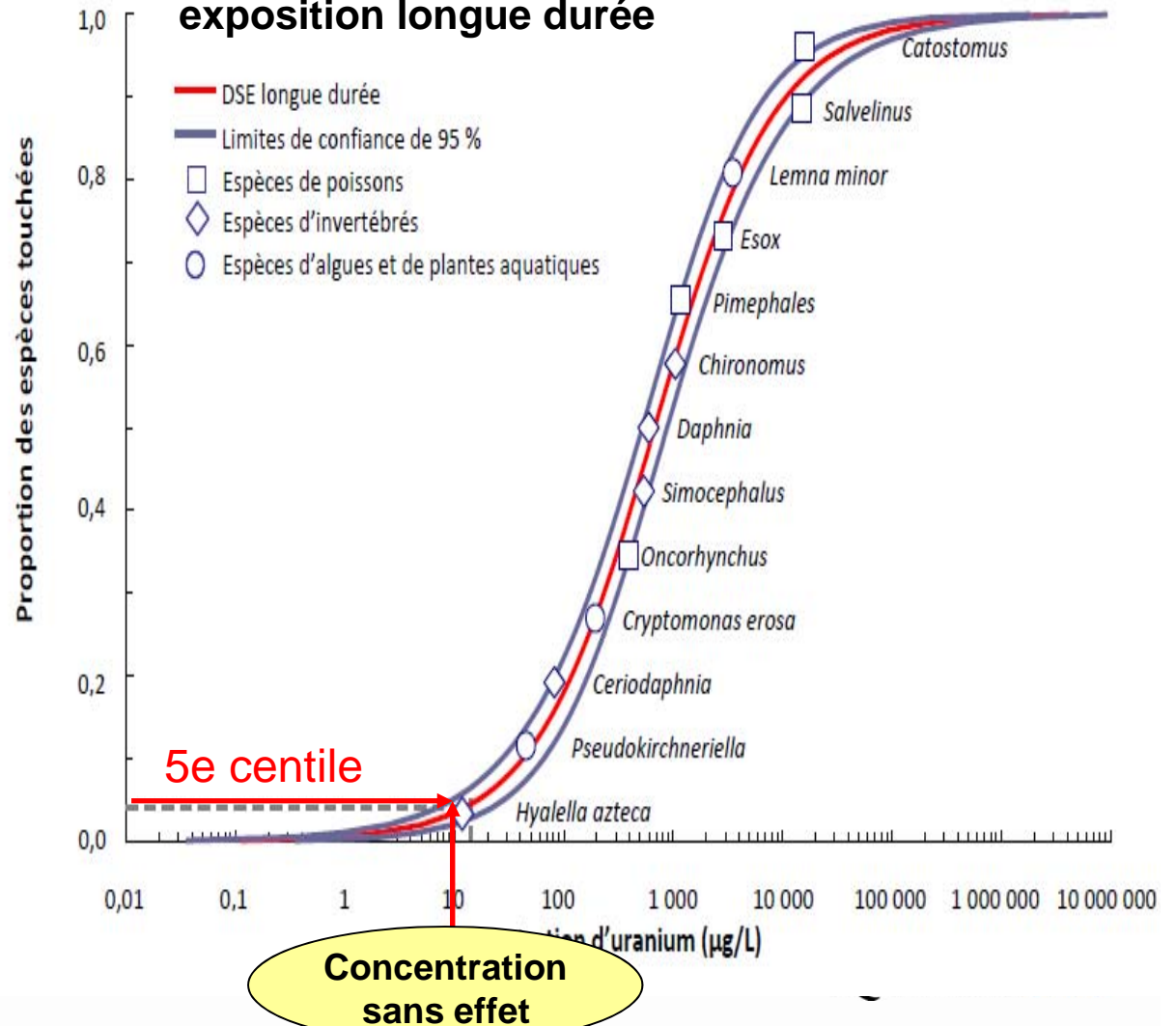
	Invertébrés	Chair de poissons	Poissons entiers
BPC		10 000- >100 000	> 1 000 000
Mercure		10 000- >100 000	10 000- >100 000
Uranium	Non bioaccumulables Uranium et thorium (selon LIS - EC, 2011)	10 Peu dans les muscles	20 Surtout dans les os et les écailles
Thorium		---	57-1180
Radium	143 – 33 000	Peu dans les muscles	0,4- 1200 Surtout dans les os
Polonium	2 000 – 240 000	Peu dans les muscles	100 à 10 000 Surtout dans les viscères

Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu aquatique

- Uranium
- Faiblement radioactif
- Chimie complexe
- Plus toxique à pH bas, matières organiques et dureté basses.
- La toxicité de l'uranium pour les poissons varie de façon inversement proportionnelle à la dureté de l'eau

Concentrations sans effet sur croissance, développement, reproduction, survie - exposition longue durée



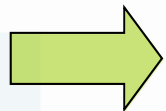
Effets potentiels des radionucléides

Toxicité en milieu aquatique

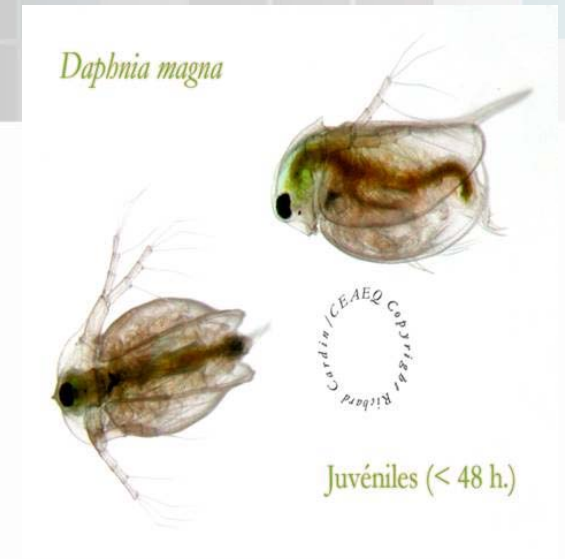
- **Thorium** : Quelques résultats d'essais disponibles algues/invertébrés/poissons

- **Polonium** : données quasi inexistantes

- **Radium** : données quasi inexistantes



Toxicité chimique peu préoccupante
Effets potentiels dépendent de leur radiotoxicité cumulative, sur laquelle il y a des données



Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Plan de la présentation

1. Contaminants préoccupants
2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore
3. Effets potentiels des radionucléides
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
- 4. Outils de quantification du risque**
5. Conclusion

Outils de quantification du risque

Récepteurs

Contaminants



Risque

Exposition

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Outils de quantification du risque

Chimique

Seuils de toxicité chimique pour l'uranium pour les organismes aquatiques ($\mu\text{g/L}$) :

Critères de qualité de l'eau		
Vie aquatique (effet aigu)	Vie aquatique (effet chronique)	Références
320-2300	14 -100	(MENV, 2002-MDDELCC, 2014)
33	15	(CCME, 2011)
--	15	(Saskatchewan Env, 2006)
46	2,6	(Suter, 1996/Friday, 2005)
	5 plantes et invertébrés	(Sheppard et al., 2005)
	400 - 26 000 poissons	
--	6	(Jones et al., 2006)
--	0,3-3510	(Beaugelin-Seiller et al., 2010)
--	3,2	(Mathews et al., 2009)
190-2400	98-1500	(Colorado, 2013)

Outils de quantification du risque

Chimique

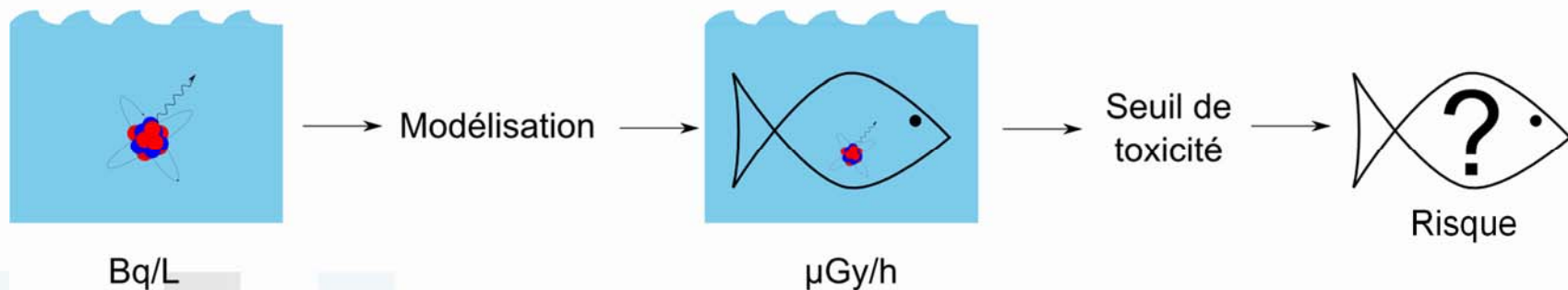
Seuils de toxicité chimique pour l'uranium pour les organismes aquatiques ($\mu\text{g/L}$) :

Critères de qualité de l'eau		Références
Vie aquatique (effet aigu)	Vie aquatique (effet chronique)	
320-2300	14 -100	<p><u>Teneurs de fond naturelles</u></p> <p>Rivières du Québec, BQMA, 2009-2013</p> <p>U. Dissous : 0,01 - 1,2 $\mu\text{g/L}$ (n= 884) U. extractible total : <0,006 - 1,2 $\mu\text{g/L}$ (n= 989)</p> <p>Au Canada</p> <p>U total : < 0,05 $\mu\text{g/L}$ – > 100 $\mu\text{g/L}$ (36 ans de données, CCME, 2011)</p>
33	15	
--	15	
46	2,6	
	5 plantes et invertébrés 400 - 26 000 poissons	
--	6	
--	0,3-3510	
--	3,2	
190-2400	98-1500	

Outils de quantification du risque

Radiotoxique

- Pour un organisme, l'effet de tous les radionucléides se cumule
- L'effet des radionucléides dépend de la dose totale d'énergie reçue par les organismes par unité de temps. C'est le *débit de dose*, souvent *exprimé en $\mu\text{Gray/h}$* .
- L'activité radioactive mesurée en Becquerels dans les milieux se convertit en débit de dose reçu par les organismes, grâce à une modélisation



Pour chacun
des radionucléides

Débit de dose

Comparaison

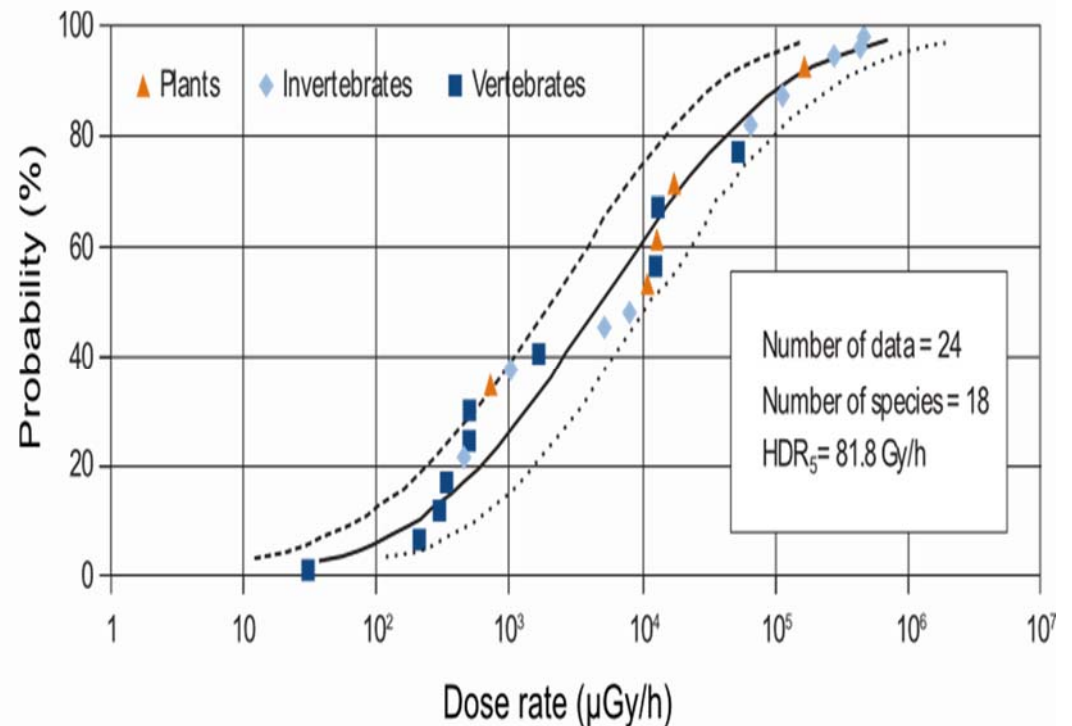
Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Outils de quantification du risque

Seuils de radiotoxicité

- Analyse de plus de 1000 références sur l'effet des rayonnements par diverses agences
- Effets observés (ex. morbidité, mortalité, succès reproducteur, mutation) rapportés en fonction du débit de dose ($\mu\text{Gy/h}$)
- Établissement de seuils sans effet pour la radiotoxicité



Outils de quantification du risque

Seuils de radiotoxicité - milieu aquatique ($\mu\text{Gy/h}$)

Proposés par la communauté scientifique

	NCRP (1991)	IAEA (1992)	USDOE (2003) EWEA (2001)	UNSCEAR (1996 2008)	EC (2003)	ERICA (2006)	ICRP (2007)	Bird et al. dans CCSSN (2012)
Organismes d'eau douce	400	400	400	400		10		
<i>Invertébrés benthiques</i>					220			250
<i>Algues</i>					110			
<i>Macrophytes (végétation aquatique)</i>					110			125
Amphibiens					110-210			
<i>Grenouille</i>							40-400	
Poissons					25			25
<i>Truite</i>							40-400	
Organismes marins	400	400	400	400		10		
<i>Crabe</i>							400-4000	
<i>Algues brunes</i>							400-4000	

Recommandation DSEE – Valeur de dépistage pour une exposition long terme
Incrémentation de 10 $\mu\text{Gy/h}$ par rapport à la teneur de fond

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Outils de quantification du risque

- **Seuils de toxicité chimique de l'uranium pour les organismes terrestres :**

Récepteur	Seuil de toxicité	Références
Microorganismes	100 mg/kg	(Sheppard et collab., 2005)
Plantes	5 mg/kg	(Efroymsen et collab., 1997a, 1997b)
Plantes	5 mg/kg	(US DOE, 2005)
Plantes	250 mg/kg	(Sheppard et collab., 2005)
Oiseaux	0,1 mg/kg/jour*	(Sheppard et collab., 2005)
Mammifères	0,1 mg/kg/jour*	(Sheppard et collab., 2005)
Mammifères	200 mg/kg	(ADEQ, 2007)

*Dose interne

- Le CEAEQ établi actuellement des seuils de toxicité pour l'uranium qui tiendront compte des plus récentes données produites par la communauté scientifique.

Outils de quantification du risque

■ Seuil de radiotoxicité en milieu terrestre

- Proposés par la communauté scientifique

	NCRP (1991)	IAEA (1992)	UNSCEAR (1996)	EC (2003)	ERICA (2006)	ICRP (2007)	US DOE	England and Wales Environment Agency
uGy/h								
Milieu terrestre								
Plantes	400 ^a	400 ^a	400 ^a	110 ^b	10 ^c		400 ^a	400 ^a
<i>Pin</i>						4-40 ^d		
<i>Herbacées</i>						40-400 ^d		
Animaux	40 ^a	40 ^a	400 (mortalité) ^a 40 (reproduction) ^a		10 ^c		40 ^a	40 ^a
Invertébrés				220 ^b				
<i>Abeilles</i>						400-4000 ^d		
<i>Vers de terre</i>						400-4000 ^d		
Oiseaux								
<i>Canard</i>						4-40 ^d		
Mammifères				110 ^b				
<i>Chevreuil</i>						4-40 ^d		
<i>Rat</i>						4-40 ^d		

- a. NOEL
 b. LOEL
 c. Extrapolation statistique basée sur la sensibilité des espèces – HDR;
 d. Jugement d'expert

- Recommandées par le CEAEQ

- Sur un site minier:
 - 40 µGy/h pour les invertébrés, les mammifères et les oiseaux;
 - 400 µGy/h pour les plantes terrestres;
- Dans un milieu naturel:
 - Augmentation de 10 µGy/h par rapport aux teneurs naturelles

Outils de quantification du risque

■ Évaluation du risque radiotoxique

- Mettre en relation l'exposition potentielle aux effets potentiels des radionucléides en utilisant les seuils de toxicité;
- Évaluer le risque pour chaque organisme, pour une exposition à l'ensemble des radionucléides présents.



Plan de la présentation

1. Contaminants préoccupants
2. Voies d'exposition potentielles de la faune et de la flore
3. Effets potentiels des radionucléides
 - a) Accumulation en milieu terrestre
 - b) Toxicité en milieu terrestre
 - c) Bioaccumulation en milieu aquatique
 - d) Toxicité en milieu aquatique
4. Outils de quantification du risque
- 5. Conclusion**

Conclusion

- Mise en évidence d'effets potentiels pour la faune et la flore, dépendamment de la concentration présente dans le milieu
 - Besoin de connaissances sur la bioaccumulation et la toxicité pour l'ensemble des organismes pour le thorium, le radium et le polonium;
 - Besoin de connaissances sur les teneurs dans le milieu naturel.
- Bien qu'il existe un potentiel d'effets reliés à l'exposition aux différents radionucléides, celui-ci peut être quantifié:
 - Seuils de toxicité et de radiotoxicité, utilisation de modèle...
- Selon le risque évalué, des mesures de surveillance spécifiques pourront être ajoutées aux conditions d'autorisation, afin d'optimiser le programme de surveillance préalablement proposé (exemple: suivi des radionucléides préoccupants). D'autres mesures pourront également être mise en place par les autorités concernées afin de gérer le risque.

Questions

- *Milieu terrestre*

- Nathalie Paquet et Gaëlle Triffault-Bouchet, CEAEQ

- *Milieu aquatique*

- Vincent Veilleux et Isabelle Guay, DSEE