



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

*Loi canadienne sur la protection de l'environnement
(1999)*

**Recommandations fédérales pour la qualité de
l'environnement**

Strontium

Environnement et changement climatique Canada

Juillet 2020

Introduction

Les recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement (RFQE) fournissent des seuils de qualité acceptable pour l'environnement ambiant. Elles sont basées uniquement sur les effets ou les dangers toxicologiques de substances ou de groupes de substances spécifiques. Les RFQE remplissent trois fonctions : premièrement, elles peuvent aider à prévenir la pollution en fournissant des cibles acceptables de qualité environnementale; deuxièmement, elles peuvent aider à évaluer l'importance des concentrations de substances chimiques actuellement présentes dans l'environnement (surveillance de l'eau, des sédiments, du sol et des tissus biologiques); troisièmement, elles peuvent servir de mesure de la performance pour évaluer l'efficacité des activités de gestion des risques. L'utilisation des RFQE est volontaire, à moins qu'elle ne soit prescrite dans des permis ou d'autres outils réglementaires. Les RFQE pour le milieu ambiant ne constituent donc pas des limites ni des valeurs « à ne jamais dépasser » pour les effluents, mais elles peuvent être utilisées pour calculer de telles limites. Le développement des RFQE relève du ministre fédéral de l'Environnement et du Changement climatique en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE) (gouvernement du Canada (GC) 1999). L'intention est de développer des RFQE en tant que complément de l'évaluation/gestion des risques des produits chimiques d'intérêt prioritaire identifiés dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques (PGPC) ou d'autres initiatives fédérales.

Lorsque les données le permettent, les RFQE sont calculées en suivant les protocoles du CCME. Des RFQE sont développées lorsqu'il existe un besoin au niveau fédéral (p. ex. pour appuyer les activités fédérales de gestion du risque ou d'autres activités de surveillance), et que des lignes directrices du CCME pour cette substance n'ont pas encore été développées ou ne devraient pas être mises à jour dans un proche avenir. Plus de renseignements sur les RFQE sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/fiches-renseignements/recommandations-federales-qualite-environnement.html>

La présente fiche d'information décrit la recommandation fédérale pour la qualité de l'eau (RFQE_{eau}) pour la protection de la vie aquatique contre les effets nocifs du strontium (tableau 1). Cette recommandation est basée sur des données de toxicité identifiées jusqu'en juin 2015. Aucune RFQE n'a été développée pour les tissus biologiques, pour les sédiments ni pour les sols pour le moment.

Tableau 1. Recommandation fédérale pour la qualité de l'eau douce pour le strontium (dissous).

Vie aquatique	Recommandation (mg/L) ^{a,b}
Eau douce	2,5

^a Étant donné que les concentrations de strontium dissous sont environ équivalentes à aux concentrations totales de strontium, la présente recommandation peut être comparée aux concentrations de strontium quand celles de strontium dissous ne sont pas disponibles.

^b Bien que la dureté ait été mise en évidence comme facteur modifiant la toxicité pour le strontium (Nautilus Environmental 2013), il n'y a pas, à présent, assez de données sur la relation entre la dureté et la toxicité du strontium pour développer un facteur d'ajustement de la toxicité du strontium en fonction de la dureté.

Identité de la substance

Le strontium (Sr) est un métal alcalino-terreux (numéro CAS 7440-24-6) aux propriétés similaires à celles du calcium. Le strontium réagit fortement avec l'oxygène et l'eau. Il existe principalement à l'état d'oxydation +2. Il se trouve naturellement qu'avec d'autres éléments dans des composés dans l'environnement (OMS 2010, Ropp 2013). Il est présent le plus souvent dans la strontianite (SrCO₃), un carbonate minéral, et dans la célestite (SrSO₄), un sulfate minéral (Ropp 2013). Ces minéraux sont présents principalement dans des roches sédimentaires (Kogel et al. 2006). Le strontium est un mélange de quatre isotopes naturels stables,

^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr et ^{88}Sr , ce dernier étant le plus prévalent (Chowdhury et Blust 2012). La RFQE est pour le strontium stable.

Utilisations

La strontianite et la célestite sont les seuls composés naturels du strontium qui contiennent suffisamment de strontium pour rendre sa récupération pratique (Ober 2014). La célestite est plus fréquemment présente dans des gisements sédimentaires d'une taille assez importante pour rendre leur exploitation attrayante. Elle est principalement utilisée pour la production d'autres composés du strontium (MacMillan 2000, Ober 2014). Des gisements de strontium ont été identifiés en Colombie-Britannique, à Terre-Neuve, en Ontario et en Nouvelle-Écosse. Dans le bassin sédimentaire de Loch Lomond, en Nouvelle-Écosse, les gisements du lac Enon et de MacRae ont été exploités de 1970 à 1976, jusqu'à ce que la production de strontium de faible qualité ne soit plus rentable (Fowler 1991, Kogel et al. 2006).

Jusqu'en 2003, l'entreprise canadienne Timminco Limited était le premier producteur mondial de strontium métallique produit à partir de carbonate de strontium importé. Il n'y a pas eu de production de strontium au Canada depuis l'arrêt de la production de strontium par Timminco dans son usine ontarienne en 2003 (RNCAN, communication personnelle, 2016). En 2003, le Canada a exporté 39 900 kg de strontium métallique aux États-Unis (Kogel et al. 2006). Malgré l'arrêt de la production, le Canada continue d'importer du strontium. Entre 2012 et 2015, les importations canadiennes de carbonate de strontium ont été de 611 000 à 836 000 kg (RNCAN, communication personnelle, 2016). La production de SrCO_3 aux États-Unis a pris fin en 2006, et aucun minerai de strontium n'a été extrait aux États-Unis depuis 1959. Les plus grands producteurs de strontium sont l'Espagne, la Chine et le Mexique. La production mondiale en 2014 était de 318 000 tonnes (GS 2015). En 2007, la quantité annuelle de composés du strontium mise sur le marché canadien était d'environ 5400 tonnes (OMS 2010).

Les composés du strontium sont utilisés en pyrotechnie et dans des fusées éclairantes, ainsi que dans des aimants en ferrite céramique. Le nitrate de strontium donne une couleur rouge vif aux feux d'artifice et aux fusées éclairantes, et peut être combiné avec des composés de cuivre pour produire une couleur violette (Ober 2014). Les autres utilisations des composés du strontium comprennent le strontium métallique dans des alliages mères, le chromate de strontium dans des pigments et des matières de charge, le carbonate de strontium pour la production électrolytique de zinc, l'oxyde de strontium pour la production de céramiques et de verres et le chlorure de strontium dans des dentifrices pour dents sensibles (MacMillan et al. 2000, Ober 2014, GS 2015).

Les sources naturelles et anthropiques de strontium au Canada comprennent la perturbation des terres, les gisements de strontium où du strontium a précédemment été exploré ou exploité et les rejets d'industries non nucléaires, comme les raffineries de métaux, les industries du bois, de la pâte et des céramiques (Chowdhury et Blust 2012).

Devenir, comportement et partition dans l'environnement

Le strontium est principalement présent dans la phase dissoute des systèmes aquatiques et ses concentrations sont généralement plus élevées en milieu marin (8,1-10,0 mg/L) qu'en eau douce (0,002-0,2 mg/L) (Chowdhury et Blust 2012). Les océans sont le plus grand réservoir de strontium dissous, à partir duquel le strontium peut être rejeté dans l'air dans les embruns (OMS 2010). Le strontium se lie faiblement aux particules et il est très mobile entre les sédiments et l'eau, à l'intérieur des sédiments, entre les bassins, les systèmes aquatiques et les estuaires en passant par les rivières. Les estimations du coefficient de distribution du strontium (exprimé en tant que rapport des concentrations de la phase particulaire et de la phase dissoute à l'équilibre) sont de 180 L/kg pour l'eau douce, de 200 L/kg pour l'eau marine et de 8 L/kg pour les écosystèmes côtiers (AIEA 2004, 2009). Le strontium est rejeté dans l'atmosphère principalement sous forme d'oxyde, qui réagit rapidement en présence d'humidité ou de dioxyde de carbone pour former de l'hydroxyde de strontium ou du carbonate de strontium. L'hydroxyde de strontium s'ionise ensuite pour former des cations Sr^{2+} et SrOH^+ (OMS 2010).

La solubilité dans l'eau des deux composés les plus courants du strontium, SrSO_4 et SrCO_3 , est respectivement de 0,14 g/L à 30 °C et 0,11 g/L à 18 °C (ATSDR 2004, OMS 2010). Le strontium pénètre dans les eaux à la suite de processus de météorisation ordinaires, de la lixiviation de minéraux à partir du sol, de granits et de roches sédimentaires ou d'eaux usées d'installations qui utilisent des composés du strontium (ATSDR 2004, Malina 2004).

En raison des interactions entre le strontium et le calcium dans les organismes aquatiques, la dureté de l'eau, qui est largement déterminée par la concentration en calcium, joue un rôle dans la toxicité du strontium. La toxicité pour les organismes diminue avec l'augmentation de la dureté de l'eau (Nautilus Environmental 2013). On pense que ce phénomène est attribuable à la concurrence entre le calcium et le strontium pour l'absorption (voir la section Mode d'action ci-dessous). La bioconcentration du strontium est inversement corrélée aux concentrations de calcium dans l'eau ambiante. La bioaccumulation se produit davantage dans les organismes d'eau douce que dans ceux d'eau de mer en raison des concentrations élevées de calcium dans l'eau de mer. Le strontium présent dans l'environnement n'est généralement pas considéré préoccupant pour les organismes aquatiques (Chowdhury et Blust 2012). Toutefois, il a été identifié comme un des vingt-sept indicateurs métalliques du Lower Athabasca Region Surface Water Quality Management Framework (Gouvernement de l'Alberta 2012) pour évaluer la santé de l'écosystème du cours inférieur de la rivière Athabasca, et il fait l'objet de diverses initiatives de surveillance provinciales et fédérales [p. ex. le Regional Aquatics Monitoring Program (RAMP) et le Plan de mise en œuvre conjoint Canada/Alberta pour la surveillance visant les sables bitumineux]. Bien qu'un seuil de référence pour les effets chroniques du strontium sur la vie aquatique en eau douce (McPherson et al. 2014) ait été développé, l'ensemble des données ne satisfaisait pas aux exigences du CCME (2007)¹. Ainsi, une RFQE pour l'eau douce pour le strontium a été développée pour éclairer les évaluations de la qualité de l'eau effectuées dans la région des sables bitumineux.

Concentrations ambiantes

Le strontium est présent dans presque tous les plans d'eau douce (ATSDR 2004). Dans les eaux douces typiques, il est présent surtout sous forme d'ions métalliques libres (~95 %) et de certains complexes de sulfate et de carbonate (Chowdhury et Blust 2012). Dans les rivières et les lacs de la région des sables bitumineux de l'Athabasca, à des concentrations < 1000 µg/L, presque tout le strontium semblait être sous forme dissoute (RAMP 2015). En assumant un phénomène identique dans les eaux étudiées en laboratoire, la recommandation devrait s'appliquer au strontium dissous. Étant donné que les concentrations de strontium dissous sont approximativement équivalentes aux concentrations totales de strontium, cette recommandation peut être comparée aux concentrations totales de strontium lorsque les concentrations de strontium dissous ne sont pas disponibles.

Les niveaux de strontium dans l'eau et les poissons ont été mesurés au Canada. Les concentrations totales et dissoutes médianes de strontium dans l'eau douce au Canada allaient respectivement de respectivement de 0,0041 à 0,50 mg/L et de 0,042 à 0,32 mg/L (tableau 2). Les concentrations médianes (et la gamme de concentrations) de strontium mesurées dans les filets et les homogénats du corps entier de poissons des lacs du Canada entre 2004 et 2014 étaient respectivement de 0,23 mg/kg (0,031-36,1 mg/kg) et de 2,01 mg/kg (0,14-95 mg/kg) (ECCC non publié). Des données plus récentes sur la qualité de l'eau pour les cours d'eau et les zones près des côtes des Grands Lacs de l'Ontario peuvent être obtenues dans le Catalogue de données de l'Ontario.

¹ Spécifiquement, l'ensemble de données sur la toxicité comprend des paramètres létaux, des moyennes géométriques inacceptables de deux paramètres ou de durées d'exposition différents, mais le nombre requis d'espèces de poisson était insuffisant pour calculer une recommandation de type A. Une analyse détaillée de l'ensemble de données utilisée par McPherson et al. (2014), incluant quelles données ont été exclues/inclues pour le calcul de la RFQE, peut être obtenue sur simple demande.

Tableau 2. Concentrations de strontium total et dissous dans les eaux douces au Canada (ECCC non publié, sauf indication contraire).

Juridiction	Années de surveillance	Total ou dissous	Médiane (mg/L)	Min. (mg/L)	Max. (mg/L)
Rivière Liard (T.N.-O.) ^a	1960-1975	Total	0,20	-	0,25
Bassin de la rivière Nelson-Saskatchewan-Mississippi ^a	1960-1975	Total	0,020-0,50	-	0,040-0,78
Lac Érié ^b	1981	Total,	0,14	0,11	0,16
		Dissous	0,14	0,11	0,18
Lac Michigan ^b	1981	Total	0,12	0,10	0,12
	1981	Dissous	0,11	0,087	0,12
Lac Supérieur ^c	1983	Dissous	0,042	0,033	0,064
Lac Huron ^d	1981	Dissous	0,097	-	-
Lac Ontario ^d	1985	Dissous	0,18	-	-
N.-É.	2011-2013	Total	0,017	0,0028	0,94
N.-B.	2011-2013	Total	0,023	0,014	0,39
T.-N.L.	2003-2013	Total	0,014	< 0,00005	0,25
QC	2007-2014	Total,	0,090	0,00004	9,24
		Dissous	0,096	0,012	0,22
ON (R. Rainy)	2014	Total	0,022	0,017	0,031
MB	2003-2014	Total,	0,31	0,021	0,71
		Dissous	0,30	0,029	0,71
SK	2003-2015	Total,	0,34	0,029	1,740
		Dissous	0,32	0,026	1,740
AB	2003-2015	Total	0,25	0,039	0,91
		Dissous	0,24	0,022	0,87
Région de l'Athabasca ^e	1997-2015	Total,	0,14	0,0001	3,30
		Dissous	0,13	0,0001	3,08
Lacs côtiers de la C.-B.	2005-2014	Total	0,0041	0,00033	0,069
Rivières du N.-E. de la C.-B.	2013-2014	Total	0,082	0,021	0,32
T.N.-O.	2003-2014	Total	0,16	< 0,00005	2,58
		Dissous	0,16	< 0,00005	2,57

^aPêches et Environnement Canada 1977; ^bRossmann 1984; ^cRossmann 1986; ^dRossmann and Barres 1988; ^eRAMP 2015

Mode d'action

Pour les processus biologiques, le strontium est similaire au calcium, sans toutefois en être un substitut exact, en raison de leurs rayons atomiques différents (ATSDR 2014). Cependant, il a été montré que le strontium s'accumule dans les tissus osseux de poissons, en particulier dans les eaux douces. Il est facilement incorporé dans les otolithes des poissons (« pierres d'oreille » faites de carbonate de calcium et qui participent à l'équilibre et à l'audition chez des poissons) (Chowdhury et Blust 2012, Mugiya et Tanaka 1995). En raison de son accumulation préférentielle dans les arrêtes, le strontium peut, à concentration élevée, interférer avec le développement osseux des poissons (ATSDR 2014).

Chez les poissons, les branchies sont le principal site d'absorption du strontium. Il existe des preuves suggérant que le strontium pénètre dans l'organisme par l'intermédiaire des systèmes de transport du calcium et qu'il est éliminé du sang très rapidement. Chez les poissons et les algues, le strontium semble imiter la sorption du calcium et faire concurrence à la fixation du calcium sur les sites d'échange d'ions de la paroi cellulaire (Chowdhury et Blust 2012, Sikes 1978). L'absorption des ions strontium dans les poissons dépend fortement de la concentration d'ions calcium dans l'eau. Avec l'augmentation des concentrations de Ca^{2+} , l'absorption de Sr^{2+} diminuait dans tout le corps, les viscères, les arrêtes, les muscles, les branchies et le sang de la carpe. Inversement, le Sr^{2+} en suspension dans l'eau inhibe significativement l'absorption du Ca^{2+} , bien que dans une moindre mesure. Cependant, le système d'absorption a une plus grande affinité pour le Ca^{2+} et peut être saturé plus rapidement de Ca^{2+} que de Sr^{2+} (Chowdhury et al. 2000, Chowdhury et Blust 2012). Dans les algues, il a été montré que le strontium agit comme un inhibiteur compétitif de l'absorption totale du calcium, mais qu'il améliore le transport interne du calcium (Sikes 1978). Cependant, lors des processus de transport ou de liaison, les systèmes biologiques favorisent le calcium plutôt que le strontium par un facteur de 2 à 3 (Chowdhury et Blust 2012).

Toxicité aquatique

Toutes les données pertinentes sur la toxicité aquatique du strontium ont fait l'objet d'un examen critique afin de déterminer si elles sont acceptables pour le développement de recommandations pour la qualité de l'environnement. Les données sont à jour jusqu'en juin 2015. Des 11 études à long terme trouvées, trois ont fourni des données acceptables sur la toxicité. Ces trois études ont fourni des concentrations avec effet pour sept espèces aquatiques (trois poissons, trois invertébrés et une algue) allant de 2,9 et 255 mg/L. Chaque espèce pour laquelle il existait des données de toxicité appropriées a été classée en fonction du paramètre préféré, puis de la sensibilité. Les données acceptables sur la toxicité chronique en milieu aquatique prises en compte pour le développement d'une RFQE sont présentées dans le tableau 3. L'espèce la plus sensible de l'ensemble de données était l'invertébré *Ceriodaphnia dubia* et la moins sensible le tête-de-boule (*Pimephales promelas*).

Pour le calcul de la recommandation, l'influence de facteurs modifiant la toxicité (p. ex. pH, température, dureté, matière organique, oxygène) devrait être prise en compte quand ceci est scientifiquement justifié (CCME 2007). Bien qu'il ait été montré que la dureté est un facteur modifiant la toxicité du strontium (Nautilus Environmental 2013), les données actuelles sur la relation entre la dureté et la toxicité du strontium sont insuffisantes pour le développement d'un facteur permettant d'ajuster la toxicité du strontium en fonction de la dureté.

Tableau 3 - Données sur la toxicité aquatique à long terme utilisées pour développer la RFQE pour le strontium

Espèce	Groupe	Paramètre	Concentration (mg/L)	Référence
Poisson zèbre (<i>Danio rerio</i>)	▲	CL ₁₄ à 6 j (survie)	2,9	Pasqualetti et al. 2013
Cladocère (<i>Ceriodaphnia dubia</i>)	■	CI ₁₀ à 6 j (reproduction)	8,1*	Pacholski 2014, calculée par McPherson et al. (2014) à partir de Cook (2008)
Cladocère (<i>Daphnia magna</i>)	■	CI ₁₀ à 21 j (reproduction)	23	Pacholski 2014
Amphipode (<i>Hyaella azteca</i>)	■	CI ₁₀ à 14 j (croissance)	30	Nautilus Environmental 2012
Algue (<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>)	●	CI ₁₀ à 3 j (croissance)	36	Pacholski 2014
Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	▲	CL ₁₀ à 21 j (survie)	67	Pacholski 2014
Tête-de-boule (<i>Pimephales promelas</i>)	▲	CL ₁₀ à 7 j (survie)	255	Pacholski 2014

Légende : ▲ = Poisson; ■ = Invertébré; ● = Plante

* Moyenne géométrique

Calcul de la recommandation fédérale pour la qualité de l'eau

Les Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement pour les eaux (RFQE_{eau}) sont développées de préférence en suivant le protocole du CCME (2007) et sont conçues pour protéger toutes les formes de vie aquatique pendant des périodes d'exposition indéfinies. Dans le cas du strontium, les données sur la toxicité chronique étaient suffisantes pour satisfaire aux exigences sur les données minimales pour calculer une recommandation de type A². Une distribution de la sensibilité des espèces (DSE) pondérée modèle a été ajustée aux données sur la toxicité à long terme au moyen de l'application Web ssdtools (version 0.0.3) (Dalgarno 2018). Cette application permet d'ajuster les données de toxicité au moyen de plusieurs fonctions de distribution cumulative (p. ex. log-normal, log-logistique, log-Gumbel, gamma, Weibull) et de construire une DES moyenne et de calculer une CH₅ basée sur l'adéquation relative de l'ajustement de chaque modèle. Pour obtenir plus de renseignements sur cette approche, veuillez consulter le document du CCME (2019). Dans le cas du strontium, l'ajustement des données de toxicité est relativement le même pour tous les modèles. Le modèle log-normal est le meilleur, suivi des modèles log-logistique, Weibull, log-Gumbel et gamma. La concentration au 5^{ème} percentile de la DES pondérée modèle est de 2,5 mg/L.

² Le CCME (2007) fournit deux approches pour le développement de recommandations pour la qualité de l'eau, en fonction de la disponibilité et de la qualité des données. L'approche privilégiée consiste à utiliser la distribution statistique de toutes les données acceptables pour développer des lignes directrices de type A. La deuxième approche est basée sur l'extrapolation à partir du paramètre de toxicité acceptable le plus bas pour développer des recommandations de type B. Pour plus de détails sur les exigences minimales en matière de données pour les recommandations du CCME, veuillez consulter le document du CCME (2007).

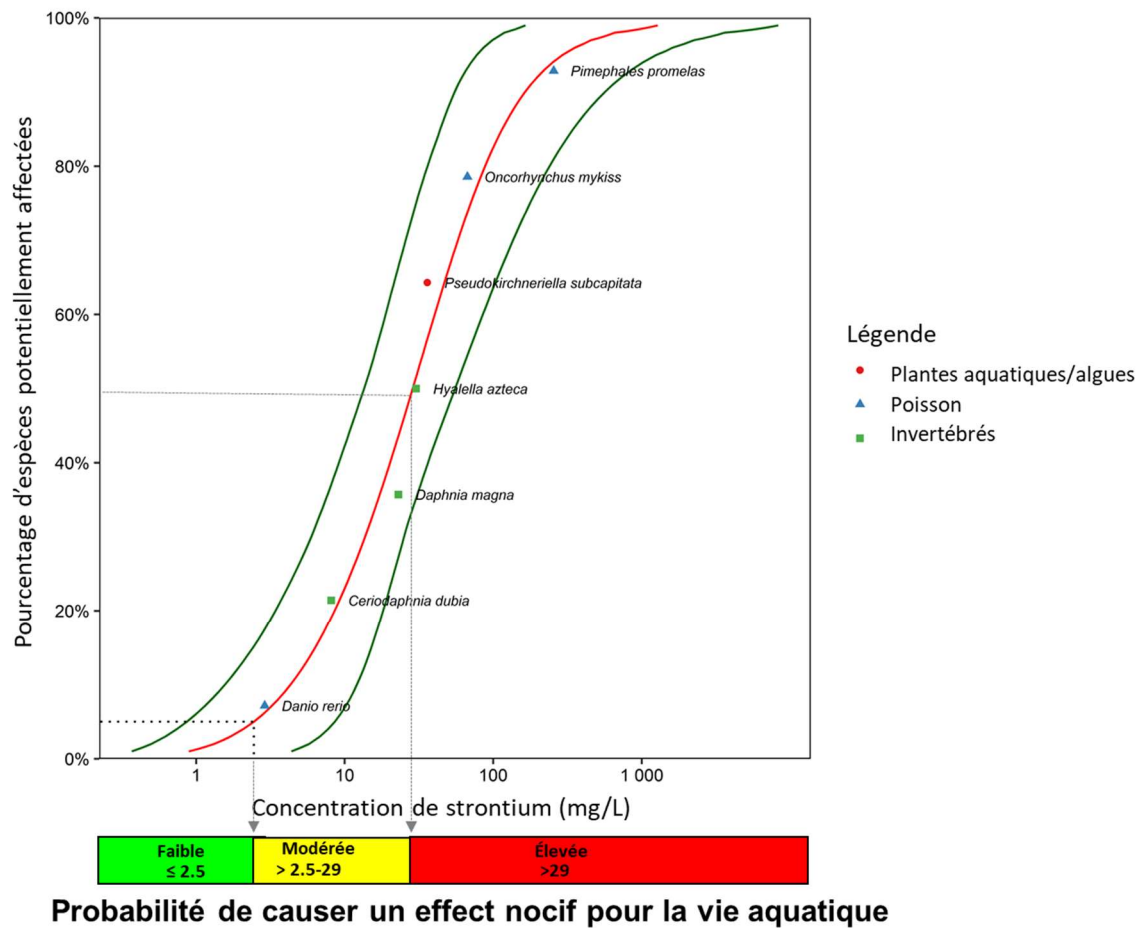


Figure 1 - Distribution de la sensibilité des espèces (DSE) pour la toxicité chronique du strontium et probabilité relative d'effets nocifs sur les espèces d'eau douce.

La concentration au 5^{ème} percentile calculée à partir de la DSE (2,5 mg/L) constitue la RFQE pour la protection des organismes d'eau douce (figure 1). Cette recommandation représente la concentration maximale à laquelle la probabilité d'un effet nocif sur la vie aquatique serait nulle ou très faible. En plus de cette recommandation, deux autres gammes de concentrations sont fournies à des fins d'utilisation pour la gestion des risques. À des concentrations entre le 5^{ème} et le 50^e percentile de la DSE (c.-à-d. entre 2,5 et 29 mg/L), il existe une probabilité modérée d'effet nocif sur la vie aquatique. Les concentrations supérieures au 50^e percentile (> 29 mg/L) sont plus susceptibles d'être associées à des effets nocifs. Les gestionnaires de risques peuvent trouver ces gammes de concentrations supplémentaires utiles pour définir des objectifs à court terme et/ou provisoires pour un plan de gestion des risques par étapes. Les gammes de concentrations modérées et plus élevées peuvent également être utilisées pour établir des cibles provisoires moins protectrices pour des eaux déjà très dégradées ou lorsque des considérations socio-économiques empêchent l'atteinte de la RFQE_{eau}.

Références

- [AIEA Agence internationale de l'énergie atomique; 2004; Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment; rapports techniques de l'AIEA, série no 422; Vienne : Agence internationale de l'énergie atomique (disponible en anglais seulement).
- [AIEA Agence internationale de l'énergie atomique; 2009; Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments; IAEA-TECDOC-1616.P.616 ; Vienne : Agence internationale de l'énergie atomique (disponible en anglais seulement).
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 2004; Toxicological Profile for Strontium; Atlanta, GA : Department of Health and Human Services des États-Unis, Public Health Service (disponible en anglais seulement).
- [CCME] Conseil canadien des ministres de l'environnement; 2007; Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des eaux en vue de la protection de la vie aquatique; dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999; Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- [CCME] Conseil canadien des ministres de l'environnement; 2019; Document scientifique pour le développement de recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique – manganèse; Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, MB.
- Chowdhury M.J., Ginneken L.V. et Blust R.; 2000; Kinetics of waterborne strontium uptake in the common carp, *Cyprinus carpio*, at different calcium levels; *Environ. Toxicol. Chem.*, 19(3), p. 622-630 (disponible en anglais seulement).
- Chowdhury M.J. et Blust R. ; 2012 ; Strontium; dans Wood C.M., Farrell A.P. et Brauner C.J. éditeurs, *Homeostasis and Toxicology of Non-Essential Metals*, vol. 31B, p. 351-390; *Fish Physiology Series*, Elsevier, New York, NY, É.-U. (disponible en anglais seulement).
- Cook D.; 2008; Chemical-specific toxicity tests to calculate tier II acute-to-chronic ratios (ACRs) for lithium chloride (LiCl) and strontium chloride (SrCl₂) using fathead minnow and *Ceriodaphnia dubia*; *Global Environmental Consulting*, Clinton, MI, É.-U. (disponible en anglais seulement).
- Dalgarno S.; 2018; ssdtools : A Shiny Web App to Analyse Species Sensitivity Distributions; préparé par Poisson Consulting pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique; disponible en ligne: <https://bcgov-env.shinyapps.io/ssdtools/> (consulté le 5 mai 2020) (disponible en anglais seulement).
- Fowler J.H.; 1991; Barite, Celestite and Fluorite in Nova Scotia; Circulaire d'information 15, 2^{ème} édition, Halifax, Nouvelle-Écosse : ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse (disponible en anglais seulement).
- Gouvernement de l'Alberta; 2012; Lower Athabasca Region Surface Water Quality Management Framework for the Lower Athabasca River; gouvernement de l'Alberta, ISBN : 978-1-4601-0530-6, 52 p. (disponible en anglais seulement).
- [GS] Geological Survey des États-Unis; 2015; Mineral Commodity Summaries 2015; U.S. Geological Survey, 196 p. (disponible en anglais seulement).
- Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M. et Krukowski S.T. éditeurs; 2006; *Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets and Uses*, 7^{ème} édition (disponible en anglais seulement).
- MacMillan J.P., Park J.W., Gerstenberg R., Wagner H., Köhler K. et Wallbrecht P.; 2000; Strontium and Strontium Compounds; dans *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, vol. 34, p. 473-480; Wiley-VCH (disponible en anglais seulement).
- Malina G.; 2004; Ecotoxicological and environmental problems associated with the former chemical plant in Tarnowski Gory, Poland; *Toxicology*, 205, p. 157-172 (disponible en anglais seulement).
- McPherson C.A., Lawrence G.S., Elphick J. R. et Chapman P.M.; 2014; Development of a strontium chronic effects benchmark for aquatic life in freshwater; *Environ. Toxicol. Chem.*, 33, p. 2472-2478 (disponible en anglais seulement).
- Mugiya Y. et Tanaka S.; 1995; Incorporation of water-borne strontium into otoliths and its turnover in the goldfish *Carassius auratus*: Effects of strontium concentrations, temperature, and 17 β -estradiol; *Fisheries Sci*, 61(1), p. 29-35 (disponible en anglais seulement).
- Nautilus Environmental, Burnaby C.-B.; 2012; Evaluation of the chronic toxicity of strontium to *Hyaella Azteca*; dans: De Beers Canada Inc., 2013, *Development of Strontium Benchmark for Aquatic Life for the Snap Lake Mine*; tire de Mackenzie Valley Land and Water Board (disponible en anglais seulement).
- Nautilus Environmental, Burnaby C.-B.; 2013; Evaluation of the chronic toxicity of strontium to early life stages of rainbow trout; dans De Beers Canada Inc., 2013, *Development of Strontium Benchmark for Aquatic Life for the Snap Lake Mine*; tire de Mackenzie Valley Land and Water Board (disponible en anglais seulement).
- Ober J.A.; 2014; Strontium [Advance Release]; dans 2012 *Minerals Yearbook*, volume I, *Metals and Minerals*; Geological Survey des États-Unis (disponible en anglais seulement).
- Organisation mondiale de la santé; 2010; Strontium and strontium compounds; *Concise International Chemical Assessment Document 77*; Genève, Suisse (disponible en anglais seulement).
- Pacholski L.; 2014; Toxicity of Stable Strontium in Surface Freshwaters of Canada; Affiche présentée à l'Atelier sur la toxicité aquatique, Ottawa, ON (disponible en anglais seulement).
- Pasqualetti S., Banfi G. et Mariotti M.; 2013; The effects of strontium on skeletal development in zebrafish embryo; *J. Trace Elements Med. Biol.*, 37, p. 375-379 (disponible en anglais seulement).

- Pêches et Environnement Canada ; 1977 ; Qualité des eaux de surface au Canada - Un aperçu; Direction générale des eaux intérieures, Ottawa, cat. En 36-429/1977
- Programme de surveillance aquatique régionale [PSAR]. 2015. Consulter les données sur la qualité de l'eau. Extrait du Programme régional de surveillance aquatique. Consulté le 16 décembre 2015.
- [RAMP] Regional Aquatics Monitoring Program; 2015; Query Water Quality Data; tiré du Regional Aquatics Monitoring Program; consulté le 16 décembre 2015 (disponible en anglais seulement).
- Ropp C.; 2013; Strontium; dans Encyclopedia of Alkaline Earth Compounds, Oxford, R.-U., Elsevier, p. 15-18 (disponible en anglais seulement).
- Rossman R.; 1984; Trace metal concentrations in the offshore waters of lakes Erie and Michigan; Special Report No. 108, Great Lakes Research Division, Université du Michigan (disponible en anglais seulement).
- Rossman R.; 1986; Trace metal concentrations in the offshore waters and sediments of Lake Superior; Special Report No. 121, Great Lakes Research Division, Université du Michigan (disponible en anglais seulement).
- Rossman R. et Barres J.; 1988; Trace element concentrations in near-surface waters of the Great Lakes and methods of collection, storage, and analysis; J. Great Lakes Res., 14(2), p. 188-204 (disponible en anglais seulement).
- Sikes C.S.; 1978; Calcification and cation sorption of *Cladophora glomerata* (chlorophyta); J. Phycol., 14, p. 325-329 (disponible en anglais seulement).
-

Liste des abréviations

- CCME - Conseil canadien des ministres de l'environnement
- CH₅ – concentration au 5^{ème} percentile d'une DSE, en dessous de laquelle des effets nocifs sont improbables
- CI - concentration inhibitrice
- CL - concentration létale
- GS – Geological Survey des États-Unis
- PGPC - Plan de gestion des produits chimiques
- RFQE - Recommandation fédérale sur la qualité de l'environnement
- RFQE_{eau} - Recommandation fédérale sur la qualité de l'environnement pour la qualité de l'eau