



Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux en vue de la protection de la vie aquatique

**ZINC
(dissous)
2018**

Le zinc (Zn; CAS 7440-66-6) est un métal essentiel, largement répandu dans la nature. Son état d'oxydation prédominant dans l'environnement naturel est le Zn^{2+} , sa forme métallique (Zn^0) se trouvant uniquement dans les milieux fortement réducteurs (Lindsay, 1979). Il peut former des complexes avec divers ligands organiques et produire une grande variété de sels (OMS, 2001). Le zinc métallique est insoluble dans l'eau, alors que plusieurs de ses sels s'y dissolvent facilement (Budavari, 1996; Lide, 2006).

Production et utilisations

Le Canada est l'un des plus grands producteurs et exportateurs de zinc. Le zinc est généralement associé au cuivre et au plomb, permettant ainsi de les récupérer sous forme de coproduits par les opérations d'extraction et de concentration (RNCAN, 2007). Le zinc sert surtout à revêtir les produits de fer et d'acier tels que les tuyaux, les fils et les tôles, ce qui leur confère une résistance à la corrosion et la rouille (RNCAN, 2007). De plus, de nombreux composés de zinc sont utilisés en dentisterie, en médecine, dans l'industrie du caoutchouc ainsi que dans les peintures, les cosmétiques et les produits ménagers (ATSDR, 2007).

Tableau 1. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (RCQE) pour le zinc dissous aux fins de protection de la vie aquatique dans certaines conditions de qualité des eaux

	Exposition à court terme ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Exposition à long terme ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
Eau douce	37 ^a	7,0 ^b
Eau de mer	Non évaluée	Non évaluée

^a La concentration référence à court terme concerne le zinc **dissous** et est calculée à l'aide de l'équation suivante : **Concentration référence = $\exp(0,833[\ln(\text{dureté mg}\cdot\text{L}^{-1})] + 0,240[\ln(\text{COD mg}\cdot\text{L}^{-1})] + 0,526)$** . La valeur indiquée dans le tableau est pour une eau de surface ayant une dureté de 50 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ et une teneur en carbone organique dissous (COD) de 0,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. L'équation pour la concentration référence est valide pour une dureté de 13,8 à 250,5 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ et une valeur de COD de 0,3 à 17,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

^b La RCQE à long terme concerne le zinc **dissous** et est calculée à l'aide de l'équation suivante : **RCQE = $\exp(0,947[\ln(\text{dureté mg}\cdot\text{L}^{-1})] - 0,815[\text{pH}] + 0,398[\ln(\text{COD mg}\cdot\text{L}^{-1})] + 4,625)$** . La valeur indiquée dans le tableau est pour une eau de surface ayant une dureté de 50 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, un pH de 7,5 et une valeur de COD de 0,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. L'équation pour la RCQE est valide pour une dureté de 23,4 à 399 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, un pH de 6,5 à 8,13 et une teneur en COD de 0,3 à 22,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Devenir, comportement et répartition

Le zinc peut être sous formes particulaire ou dissoute dans les environnements aquatiques naturels, mais se retrouve surtout distribué dans la fraction particulaire et dans les sédiments (Eisler, 1993). Plusieurs mécanismes contrôlent les concentrations et la mobilité du zinc dans l'eau, et donc sa biodisponibilité pour les organismes aquatiques. De nombreuses variables

abiotiques, les plus importantes étant le pH, l'alcalinité, le potentiel d'oxydo-réduction (Eh), la matière organique dissoute et la salinité, influencent la spéciation du zinc et par conséquent la prédominance des diverses formes de zinc. Les espèces de zinc dissous les plus courantes dans les eaux naturelles, dans des conditions aérobies, sont le $ZnOH^+$, le Zn^{2+} et le $ZnCO_3$ (Florence, 1977; Stumm et Morgan, 1981). L'ion de zinc aqueux (Zn^{2+}) semble être l'espèce chimique la plus toxique dans les environnements aquatiques (ANZECC, 2000). Les formes moins solubles de zinc, comme l'hydroxyde de zinc ($Zn(OH)_2$) et le carbonate de zinc ($ZnCO_3$), sont jugées non toxiques (Cairns et coll., 1971; Spear, 1981). Des changements de conditions de l'environnement influençant la spéciation du zinc peuvent également en modifier la toxicité.

Tableau 2. Acronymes utilisés

CE ₅₀	concentration effective pour 50 % des organismes à l'étude
CI ₅₀	concentration inhibitrice d'une fonction pour 50 % des organismes à l'étude
CL ₅₀	concentration létale pour 50 % des organismes à l'étude
CMAT	concentration maximale acceptable toxique
CMEO	concentration minimale produisant un effet observable
COD	carbone organique dissous
CSEO	concentration sans effet observable
DSE	distribution de la sensibilité des espèces
RCQE	Recommandation canadienne pour la qualité des eaux
RLM	régression linéaire multiple
ST _m	seuil de tolérance médian; concentration à laquelle survivent 50 % des organismes
Zn ²⁺	ion de zinc aqueux
Zn(OH) ₂	hydroxyde de zinc
ZnCO ₃	carbonate de zinc

Le tableau 3 présente les concentrations de zinc mesurées dans les eaux de surface canadiennes.

Effets sur la vie aquatique

Le zinc est un élément essentiel pour de nombreuses fonctions biologiques. Les concentrations environnementales bien en deçà de ses concentrations optimales peuvent perturber l'homéostasie d'une espèce, et toute carence a des effets observables (Muysen et Janssen, 2002). Les concentrations de zinc plus élevées produisent toutefois des effets néfastes chroniques et aigus sur la reproduction et le comportement des organismes mais aussi des réactions biochimiques et physico-chimiques (OMS, 2001).

Chez le poisson, le zinc interfère avec l'absorption de calcium par les branchies (Hogstrand et coll., 1994; Spry et Wood, 1985). Comme le calcium est également un élément essentiel, cette diminution de l'absorption provoque une carence en calcium (Spry et Wood,

1985). Chez les invertébrés, le zinc perturbe également l'homéostasie du calcium (Muysen et coll., 2006) à cause de la compétition pour les sites d'absorption au niveau de l'épithélium des branchies (Hogstrand et coll., 1994; Hogstrand et coll., 1998). Le zinc affecte aussi, dans une moindre mesure, les flux de sodium et de chlorure (Spry et Wood, 1985).

Lorsque les concentrations de zinc atteignent un niveau létal, la mort de l'organisme est causée par la destruction irréversible de l'épithélium des branchies chez les organismes aquatiques, provoquant ainsi une hypoxie, une défaillance de l'osmorégulation, une acidose et une faible pression d'oxygène dans le sang artériel (Hiltibran, 1971; Skidmore, 1970; Skidmore et Tovell, 1972).

Les salmonidés sont généralement plus sensibles que les autres poissons selon les études d'exposition à court terme.

Tableau 3. Plage des concentrations de zinc dans les eaux de surface canadiennes

Territoire	Emplacement	Concentration ($\mu\text{g Zn}\cdot\text{L}^{-1}$)	Référence
Grands Lacs		0,087 à 0,277 ^a (dissous)	(Nriagu et coll., 1996)
Manitoba	Ross Lake, Flin Flon Creek – en aval d'une mine de Cu-Zn	41,4 à 1 521	(Evans, 2000)
Alberta, 2001 à 2003	Sites situés en amont qui ne sont pas touchés par des activités minières	0,55 en 2002 à 0,13 en 2003 ^b	(Wayland et Crosley, 2006)
Alberta, 2005 à 2016	Région d'Athabasca	< 0,09 à 125 (dissous) < 0,1 à 139 (total)	(RAMP, 2016)
Territoires du Nord-Ouest et Colombie-Britannique	Great Bear River (T.N.-O), et Kicking Horse River et Beaver River (C.-B.)	5,32 à 9,0	(Tri-Star Environmental Consulting, 2006)
Nouvelle-Écosse	Cours d'eau	< 5,0 à 11	(Reimann et De Caritat, 1998)
Nouvelle-Écosse, 1970 à 2013	Ruisseaux, lacs et étangs	< 2 à 241	(Nova Scotia Environment, 2015)
Ontario, 2014	Cours d'eau	< 2 à 537	(Gouvernement de l'Ontario, 2016)

^a Moyenne.

^b Médiane annuelle.

Facteurs modifiant la toxicité

Les conditions de la chimie de l'eau influencent la toxicité du zinc pour les organismes aquatiques en perturbant son comportement et sa biodisponibilité. La dureté de l'eau, le carbone organique dissous (COD) et le pH sont les principales variables ayant un effet sur la toxicité du zinc. Tous les détails de l'évaluation se trouvent dans le document scientifique (CCME, 2018).

L'augmentation de la dureté est généralement associée à un effet protecteur (c.-à-d. que le zinc est moins toxique dans les eaux plus dures) probablement attribué à une interaction compétitive avec le Ca^{2+} et le Mg^{2+} aux sites de fixation. L'effet du pH est moins évident. Des auteurs ont indiqué que la toxicité pour les poissons et les algues est proportionnelle au pH dans les eaux naturelles, mais il ne se dégage aucune tendance cohérente pour les invertébrés (CCME, 2018). La biodisponibilité du zinc augmente à des valeurs élevées de pH en raison d'une réduction de la fixation du zinc par les ligands organiques. La matière organique dissoute constitue un important agent de complexion du zinc, ce qui procure un effet protecteur (mesurées sous forme de COD). Le document scientifique du CCME (2018) décrit plus en détail les facteurs modifiant la toxicité.

Il est important de prendre en compte l'exposition et les facteurs modifiant la toxicité pour établir les recommandations (CCME, 2007). Cela peut se faire au moyen d'équations à une ou plusieurs variables, de matrices ou de modèles. Le CCME a donc choisi d'utiliser l'analyse de régression linéaire multiple (RLM) pour tenir compte des effets simultanés de la dureté de l'eau, du COD et du pH sur la toxicité du zinc.

Le CCME a établi des relations empiriques pour les expositions à court et à long termes en se servant d'une RLM ascendante. L'analyse a permis de déterminer quelles variables de la chimie de l'eau expliquaient en grande partie la variabilité de la toxicité du zinc. Des analyses de RLM ont été effectuées pour chaque espèce. Le meilleur modèle a ensuite été choisi pour chaque espèce en fonction de sa fiabilité de prédiction de la toxicité, de la variabilité de l'ensemble de

données et, dans le cas de la recommandation à long terme, du niveau de protection offert par les valeurs établies par le modèle.

La dureté et le COD sont des facteurs significatifs pour l'élaboration de la concentration référence à court terme. En ce qui concerne la Recommandation canadienne pour la qualité des eaux (RCQE) à long terme, la dureté, le pH et le COD expliquent en grande partie la variation, en plus de permettre d'établir l'équation de la RCQE.

L'équation de la concentration référence à court terme du CCME repose sur un modèle combinant *Daphnia magna* et *D. pulex* et comprenant des variables pour la dureté et le COD. Quant à elle, l'équation de la RCQE à long terme repose sur un modèle d'*Oncorhynchus mykiss* comprenant des variables pour la dureté, le pH et le COD. Par conséquent, la RCQE et la concentration référence à court terme pour l'exposition au zinc en eau douce sont exprimées sous forme d'équations à variables multiples établies en fonction de la dureté, du COD et du pH de l'eau, qui permettent de formuler des recommandations et des concentrations références basées sur la chimie de l'eau du site à l'étude.

Élaboration des recommandations pour la qualité des eaux

En ce qui concerne la recommandation à court terme, toutes les concentrations avec effet ont été normalisées pour une dureté de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 et une concentration de COD de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en utilisant l'équation de RLM pour les données regroupées pour *Daphnia sp.* En ce qui concerne la recommandation à long terme, ces mêmes concentrations avec effet ont été normalisées pour une dureté de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 , une concentration de COD de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ et un pH de 7,5 en utilisant l'équation de RLM pour *O. mykiss*. Les concentrations de zinc total ont été converties en concentrations de zinc dissous à l'aide d'un facteur de conversion de 0,978 pour la recommandation à court terme et de 0,986 pour celle à long terme (USEPA, 1996), puis représentées graphiquement (voir les figures 1 et 2). Le document scientifique portant sur la RCQE du zinc et sa feuille de calcul en annexe décrivent en détail les données comprises dans les DSE (CCME, 2018).

Concentration référence à court terme dans l'eau douce

Le CCME établit des concentrations références à court terme à partir de données relatives aux effets sévères (comme la létalité) pour des périodes définies d'exposition à court terme. Ces concentrations références sont des estimateurs des effets importants sur l'écosystème aquatique et visent à renseigner sur les répercussions de situations graves, mais transitoires (p. ex., déversements et rejets peu fréquents de substances à courte durée de vie ou non persistantes). Elles ne donnent *aucune indication* au sujet des concentrations références de substances qui assurent la protection en environnement aquatique, puisque ce sont des concentrations qui *ne protègent pas* contre les effets néfastes de ces substances.

Les exigences minimales en matière de données ont été satisfaites pour obtenir des recommandations de type A, ce qui a permis au CCME d'établir la concentration référence à partir de 81 points de données (voir le tableau 4). Chaque espèce a été classée selon sa sensibilité.

Tableau 4. Indicateurs utilisés pour établir la concentration référence à court terme du zinc dissous dans l'eau douce^a

Position dans la distribution de la sensibilité des espèces	Espèce	Indicateur	Concentration avec effet normalisée (µg Zn dissous·L ⁻¹)
1	<i>Daphnia magna</i> (puce d'eau)	CL ₅₀ 96 h	22,7
2	<i>Ceriodaphnia dubia</i> (puce d'eau)	CL ₅₀ 48 h	34,0
3	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (algue verte)	CE ₅₀ 4 h (croissance)	36,2
4	<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (puce d'eau)	CL ₅₀ 48 h	67,2
5	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> (algue verte)	CE ₅₀ 24 h (croissance)	76,3
6	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (truite arc-en-ciel)	CL ₅₀ 5 j	84,9
7	<i>Daphnia pulex</i> (puce d'eau)	CL ₅₀ 48 h	94,6
8	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (saumon royal)	CL ₅₀ 96 h	99,6
9	<i>Oncorhynchus clarkii virginalis</i> (truite fardée Rio Grande)	CL ₅₀ 96 h	120
10	<i>Cottus bairdi</i> (chabot tacheté)	CL ₅₀ 96 h	121
11	<i>Salvelinus confluentus</i> (omble à tête plate)	CL ₅₀ 5 j	123
12	<i>Morone saxatilis</i> (bar d'Amérique)	CL ₅₀ 96 h	141
13	<i>Salmo trutta</i> (acoupa royal)	CL ₅₀ 96 h	147
14	<i>Daphnia ambigua</i> (cladocère)	CL ₅₀ 48 h	150
15	<i>Rhinichthys chrysogaster</i> (naseux à ventre doré)	CL ₅₀ 96 h	152
16	<i>Thymallus arcticus</i> (ombre de l'Arctique)	CL ₅₀ 96 h	171
17	<i>Lampsilis rafinesqueana</i> (lampsile du Midwest)	CE ₅₀ 48 h (survie)	175
18	<i>Pimephales promelas</i> (tête-de-boule)	ST _m 96 h	194
19	<i>Daphnia longispina</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	210
20	<i>Daphnia carinata</i> (cladocère)	CL ₅₀ 48 h	224
21	<i>Oncorhynchus clarkii pleuriticus</i> (truite fardée du fleuve Colorado)	CL ₅₀ 96 h	245
22	<i>Simocephalus vetulus</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	246
23	<i>Daphnia galeata</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	262
24	<i>Simocephalus exspinosus</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	307
25	<i>Prosopium williamsoni</i> (ménomini des montagnes)	CL ₅₀ 96 h	327
26	<i>Oncorhynchus clarkii stomias</i> (truite fardée)	CL ₅₀ 96 h	328
27	<i>Acroperus elongatus</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	423
28	<i>Chydorus ovalis</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	426
29	<i>Ceriodaphnia pulchella</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	443
30	<i>Lampsilis siliquoidea</i> (lampsile siliquoïde)	CE ₅₀ 96 h (survie)	470
31	<i>Chydorus sphaericus</i> (cladocère)	CE ₅₀ 48 h (immobilité)	516
32	<i>Ptychocheilus lucius</i> (cyprinoïde du Colorado)	CL ₅₀ 96 h	533
33	<i>Bufo boreas</i> (crapaud boréal)	CL ₅₀ 96 h	535
34	<i>Oncorhynchus nerka</i> (saumon sockeye)	CL ₅₀ 115 h	717
35	<i>Oncorhynchus kisutch</i> (saumon coho)	CL ₅₀ 96 h	834
36	<i>Culicoides furens</i> (moucheron)	CL ₅₀ 96 h	888
37	<i>Chironomus plumosus</i> (moucheron)	CL ₅₀ 96 h	999
38	<i>Physa heterostropha</i> (escargot)	CL ₅₀ 96 h	1 021
39	<i>Moina macrocopa</i> (cladocère)	CL ₅₀ 48 h	1 144
40	<i>Tubifex tubifex</i> (ver)	CL ₅₀ 96 h	1 145

Position dans la distribution de la sensibilité des espèces	Espèce	Indicateur	Concentration avec effet normalisée ($\mu\text{g Zn dissous}\cdot\text{L}^{-1}$)
41	<i>Xyrauchen texanus</i> (meunier bossu)	CL ₅₀ 96 h	1 286
42	<i>Physa gyrina</i> (escargot)	CL ₅₀ 96 h	1 356
43	<i>Rhinichthys cataractae</i> (naseux des rapides)	CL ₅₀ 96 h	1 382
44	<i>Brachionus havanaensis</i> (rotifère)	CL ₅₀ 24 h	1 428
45	<i>Gila elegans</i> (cyprin épineux)	CL ₅₀ 96 h	1 505
46	<i>Lymnaea luteola</i> (escargot)	CL ₅₀ 96 h	1 542
47	<i>Salvelinus fontinalis</i> (omble de fontaine)	CL ₅₀ 96 h	1 713
48	<i>Platygobio gracilis</i> (méné à tête plate)	CL ₅₀ 96 h	1 809
49	<i>Hydra viridissima</i> (hydre verte)	CL ₅₀ 96 h	2 003
50	<i>Lirceus alabamiae</i> (isopode)	CL ₅₀ 96 h	2 077
51	<i>Cyprinus carpio</i> (carpe)	CL ₅₀ 96 h	2 496
52	<i>Spirodela polyrrhiza</i> (lentille d'eau)	Cl ₅₀ 4 j (croissance)	2 505
53	<i>Azolla pinnata</i> (azolla)	Cl ₅₀ 4 j (croissance)	2 540
54	<i>Catostomus commersoni</i> (meunier noir)	CL ₅₀ 96 h	2 688
55	<i>Lepomis macrochirus</i> (crapet arlequin)	CL ₅₀ 96 h	3 155
56	<i>Catostomus latipinnis</i> (meunier à grosses nageoires)	CL ₅₀ 24 h	3 604
57	<i>Corbicula fluminea</i> (bivalve)	CL ₅₀ 96 h	3 696
58	<i>Brachydanio rerio</i> (poisson zèbre)	CL ₅₀ 96 h	3 761
59	<i>Caecidotea bicrenata</i> (isopode)	CL ₅₀ 96 h	3 897
60	<i>Gambusia holbrooki</i> (gambuse)	CL ₅₀ 96 h	4 192
61	<i>Rana hexadactyla</i> (grenouille)	CL ₅₀ 96 h	4 404
62	<i>Hydra vulgaris</i> (hydre rose)	CL ₅₀ 96 h	4 928
63	<i>Bufo melanostictus</i> (crapaud asiatique)	CL ₅₀ 96 h	4 945
64	<i>Morone americana</i> (baret)	ST _m 48 h	5 253
65	<i>Ptychocheilus oregonensis</i> (sauvagesse du Nord)	CL ₅₀ 96 h	5 420
66	<i>Hydra oligactis</i> (hydre brune)	CL ₅₀ 72 h	5 928
67	<i>Lumbriculus variegatus</i> (oligochète)	CL ₅₀ 96 h	7 293
68	<i>Anguilla rostrata</i> (anguille)	ST _m 96 h	7 542
69	<i>Notemigonus crysoleucas</i> (méné jaune)	CL ₅₀ 24 h	7 666
70	<i>Baetis tricaudatus</i> (éphémère commune)	CL ₅₀ 96 h	8 429
71	<i>Fundulus diaphanus</i> (fondule barré)	ST _m 96 h	9 987
72	<i>Lepomis gibbosus</i> (crapet-soleil)	ST _m 96 h	10 455
73	<i>Aeolosoma headleyi</i> (annélide)	CL ₅₀ 48 h	11 076
74	<i>Xenopus laevis</i> (dactylèthre africain)	CL ₅₀ 4 j	18 947
75	<i>Lepidostoma</i> sp. (phrygane)	CL ₅₀ 96 h	35 215
76	<i>Carassius auratus</i> (cyprin doré)	CL ₅₀ 24 h	39 517
77	<i>Rhithrogena hageni</i> (éphémère commune)	CL ₅₀ 96 h	40 479
78	<i>Drunella doddsi</i> (éphémère commune)	CL ₅₀ 96 h	46 625
79	<i>Chloroperlidae</i> (perle)	CL ₅₀ 96 h	49 058
80	<i>Cinygmula</i> sp. (éphémère commune)	CL ₅₀ 96 h	49 058
81	<i>Ephemera</i> sp. (éphémère commune)	CL ₅₀ 96 h	49 058

^a Normalisée en fonction de la dureté et du COD – voir le texte pour les détails.

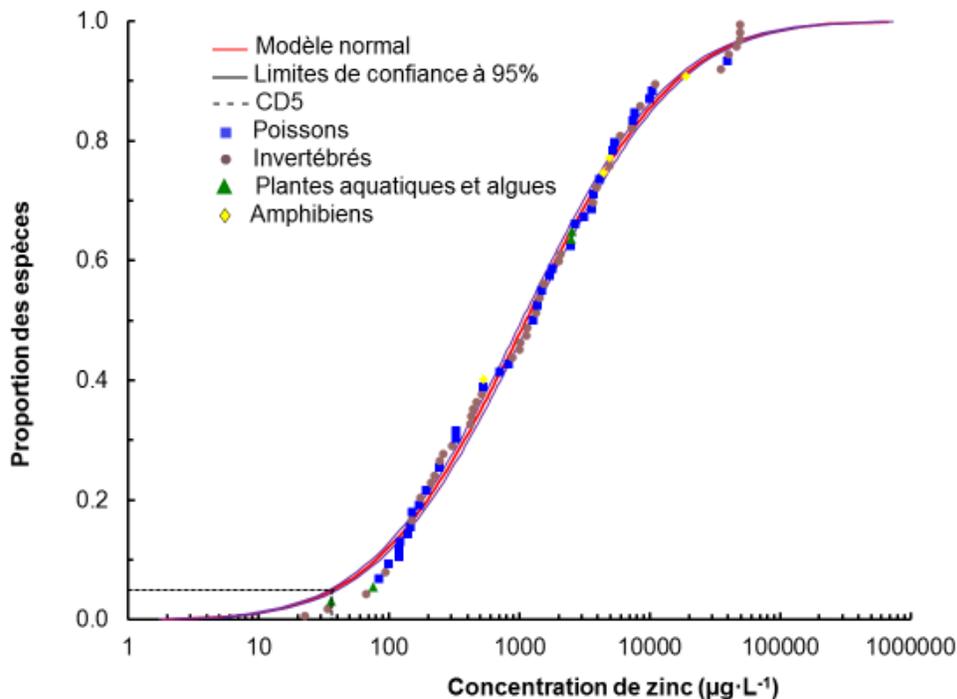


Figure 1. Distribution de la sensibilité des espèces (DSE) liée à l'exposition à court terme au zinc dissous en eau douce, déterminée par ajustement du modèle log-normal aux valeurs de CL/CE₅₀ à court terme chez 81 espèces aquatiques. Les données ont été normalisées en fonction de la dureté et du carbone organique dissous, puis converties en concentrations de zinc dissous comme cela est indiqué en page 4. Le cinquième percentile de la DSE pour une exposition à court terme est de 37 µg·L⁻¹.

Comme la dureté de l'eau et le COD sont d'importants facteurs modifiant la toxicité dans l'analyse à court terme, la concentration référence à court terme est exprimée sous forme d'une équation dans laquelle les valeurs de la dureté de l'eau et du COD pour un site donné doivent être introduites pour obtenir une concentration référence pour ce site. Le document scientifique du CCME (2018) décrit ce calcul plus en détail. Le tableau 5 fournit quelques exemples.

Équation 1.

$$\text{Concentration référence à court terme} = \exp(0,833[\ln(\text{dureté})] + 0,240[\ln(\text{COD})] + 0,526)$$

où la concentration référence est exprimée sous forme de concentration de zinc dissous (µg·L⁻¹), la dureté est mesurée en mg·L⁻¹ de CaCO₃ et le COD en mg·L⁻¹.

Tableau 5. Exemples de concentrations références ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) liées à l'exposition à court terme au zinc dissous en eau douce pour différentes valeurs de dureté de l'eau et de COD^a

COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Dureté ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)							
	15	25	50	75	100	150	200	250,5 ^a
0,5	14	21	37	52	66	93	118	143
2,0	19	29	52	73	93	130	165	199
5,0	24	36	65	91	115	162	206	248
10,0	28	43	77	107	136	191	243	293
17,3 ^a	32	49	87	122	155	218	277	334 (maximum)

^a L'équation pour la concentration limite à court terme est valide pour une dureté de 13,8 à 250,5 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ et une valeur de COD de 0,3 à 17,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Recommandation à long terme pour la qualité de l'eau douce

Les recommandations sur l'exposition à long terme sont basées sur des concentrations hydriques visant à protéger toutes les formes de vie aquatique pendant des périodes d'exposition indéfinies. Les exigences minimales en matière de données ont été satisfaites pour les recommandations de type A, ce qui a permis d'établir une recommandation à partir de 29 points de données (voir le tableau 6). Chaque espèce pour laquelle des données pertinentes sur la toxicité à long terme ont été obtenues a été classée selon sa sensibilité.

Tableau 6. Indicateurs utilisés pour établir la RCQE sur l'exposition à long terme au zinc dissous en eau douce

Position dans la distribution de la sensibilité des espèces	Espèce	Indicateur	Concentration avec effet normalisée ^a ($\mu\text{g Zn dissous}\cdot\text{L}^{-1}$)
1	<i>Chironomus riparius</i> (chironomidé)	CME0 11 sem. (développement)	9,89
2	<i>Ceriodaphnia dubia</i> (puce d'eau)	CMAT 7 j (reproduction)	11,3
3	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (algue verte)	CE ₁₀ 72 h (vitesse de croissance)	13,8
4	<i>Daphnia magna</i> (cladocère)	CE ₁₀ 21 j (reproduction)	15,0
5	<i>Potamopyrgus jenkinsi</i> (escargot)	CMAT 12 sem. (croissance)	19,1
6	<i>Jordanella floridae</i> (jordanelle de Floride)	CMAT 100 j (croissance)	27,9
7	<i>Cottus bairdi</i> (chabot tacheté)	CE ₁₀ 30 j (mortalité)	31,5
8	<i>Brachionus havanaensis</i> (rotifère)	CE ₁₀ 18 j (inhibition de la croissance de la population)	36,5
9	<i>Phoxinus phoxinus</i> (vairon)	CL ₁₀ 150 j (mortalité)	51,0
10	<i>Dreissena polymorpha</i> (moule zébrée)	CL ₁₀ 10 sem. (mortalité)	51,1
11	<i>Pimephales promelas</i> (tête-de-boule)	Cl ₁₀ 7 j (croissance) CE ₁₀ 48 h	68,2
12	<i>Brachionus calyciflorus</i> (rotifère)	(taux intrinsèque d'accroissement de la population)	73,0
13	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (truite arc-en-ciel)	CL ₁₀ 30 j (mortalité)	101
14	<i>Lampsilis siliquoidea</i> (lampsile siliquoïde)	Cl ₁₀ 28 j (longueur)	104

Position dans la distribution de la sensibilité des espèces	Espèce	Indicateur	Concentration avec effet normalisée ^a (µg Zn dissous·L ⁻¹)
15	<i>Bufo boreas</i> (crapaud boréal)	CMAT 4 sem. (développement)	108
16	<i>Lymnaea stagnalis</i> (escargot)	CE ₁₀ 28 j (croissance)	113
17	<i>Salmo trutta</i> (truite de mer)	CMAT 58 j (poids)	130
18	<i>Prosopium williamsoni</i> (ménomoni des montagnes)	CI ₁₀ 90 j (biomasse)	133
19	<i>Salvelinus fontinalis</i> (omble de fontaine)	CI ₁₀ 24 sem. (fragilité des œufs)	161
20	<i>Oncorhynchus clarkii pleuriticus</i> (truite fardée)	CMAT 30 j (biomasse)	169
21	<i>Chlorella</i> sp. (algue verte)	CI ₅₀ 48 h (vitesse de croissance)	225
22	<i>Physa gyrina</i> (escargot)	CSEO/QSEO 30 j (mortalité)	344
23	<i>Lemna minor</i> (lentille mineure)	CE ₁₀ 7 j (croissance)	400
24	<i>Lyngbya</i> sp. (cyanobactéries)	CE ₁₀ 18 j (vitesse de croissance)	415
25	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (diatomée)	CE ₁₀ 5 j (vitesse de croissance)	477
26	<i>Ceratophyllum demersum</i> (anthocérotes)	CME0 15 j (teneur en chlorophylle et biomasse)	1 116
27	<i>Chlamydomonas</i> sp. (algue verte)	CE ₁₀ 10 j (vitesse de croissance)	1 428
28	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (algue verte)	CE ₁₀ 5 j (vitesse de croissance)	1 628
29	<i>Rhithrogena hageni</i> (éphémère commune)	CE ₁₀ 10 j (mortalité)	1 696

^a Normalisée en fonction de la dureté et du COD – voir le texte pour les détails.

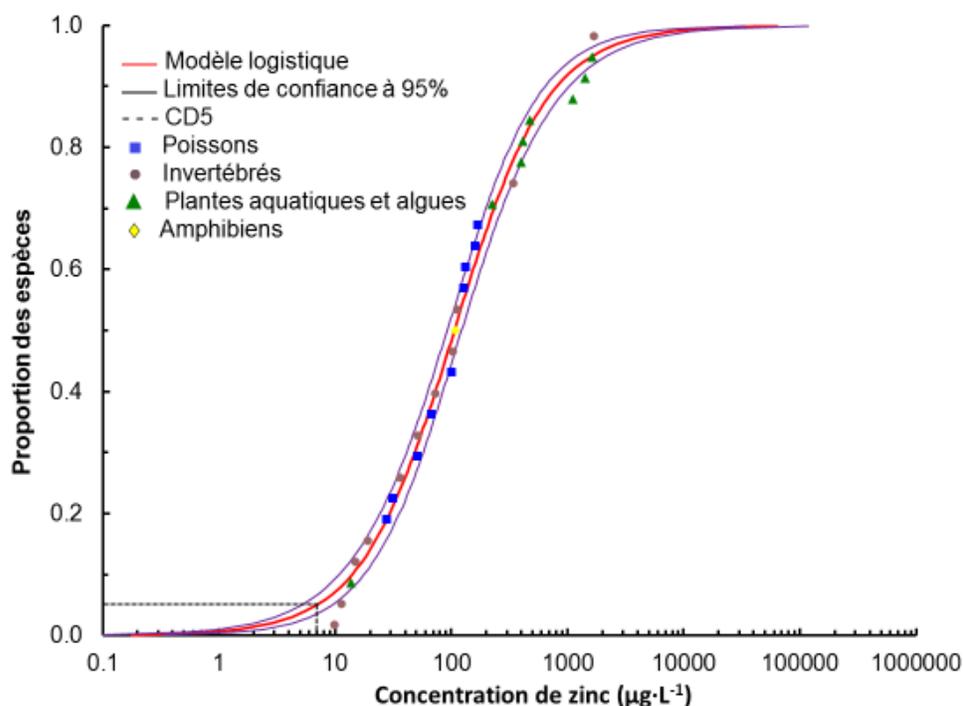


Figure 2. Distribution de la sensibilité des espèces liée à l'exposition à long terme au zinc dissous en eau douce, déterminée par ajustement du modèle logistique aux indicateurs d'effet à long terme chez 29 espèces aquatiques. Les données ont été normalisées en fonction de la dureté, du carbone organique dissous et du pH, puis converties en concentrations de zinc dissous comme cela est indiqué en page 4. Le cinquième percentile de la DSE pour une exposition à long terme est de $7,0 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Aucun point de données n'est tombé sous la valeur du cinquième percentile sur la courbe de DSE liée à l'exposition à long terme. Dans son évaluation du caractère protecteur de la RCQE pour le zinc, le CCME (2007, 2018) a conclu que la RCQE assurait le niveau de protection souhaité.

Comme la dureté de l'eau, le pH et le COD sont d'importants facteurs modifiant la toxicité dans l'analyse à long terme, la RCQE est exprimée sous forme d'une équation dans laquelle les valeurs de la dureté de l'eau, du pH et du COD pour un site donné doivent être introduites pour obtenir une RCQE pour ce site.

Équation 2.

$$\text{RCQE} = \exp(0,947[\ln(\text{dureté})] - 0,815[\text{pH}] + 0,398[\ln(\text{COD})] + 4,625)$$

où la RCQE est exprimée sous forme de concentration de zinc dissous ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), la dureté est mesurée en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 , le pH est en unités standards et le COD en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tableau 7. Exemples de RCQE ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) pour le zinc dissous dans l'eau douce pour différentes valeurs de dureté de l'eau, de pH et de COD^a

pH 6,5^a						
COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Dureté ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)					
	25	50	75	100	200	399^a
0,5	8,2	16	23	30	59	113
2,0	14	27	40	53	102	195
5,0	20	39	58	76	146	281
10,0	27	52	76	100	193	371
22,9 ^a	37	72	106	139	268	516 (maximum)

pH 7,0						
COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Dureté ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)					
	25	50	75	100	200	399^a
0,5	5,4	10	15	20	39	75
2,0	9,4	18	27	35	68	130
5,0	14	26	38	50	97	187
10,0	18	35	51	67	128	247
22,9 ^a	25	48	70	93	178	343

pH 7,5						
COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Dureté ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)					
	25	50	75	100	200	399^a
0,5	3,6	7,0	10	13	26	50
2,0	6,3	12	18	23	45	87
5,0	9,0	17	26	34	65	125
10,0	12	23	34	44	85	164
22,9 ^a	17	32	47	62	119	228

pH 8,0						
COD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Dureté ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)					
	25	50	75	100	200	399^a
0,5	2,4	4,6	6,8	8,9	17	33
2,0	4,2	8,1	12	16	30	58
5,0	6,0	12	17	22	43	83
10,0	7,9	15	22	29	57	109
22,9 ^a	11	21	31	41	79	152

^a L'équation pour la RCQE est valide pour une dureté de 23,4 à 399 mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, un pH de 6,5 à 8,13 et une valeur de COD de 0,3 à 22,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Recommandation pour la qualité de l'eau de mer

Comme le CCME n'a toujours pas établi de recommandation pour la qualité de l'eau de mer pour le zinc, il n'existe à l'heure actuelle aucune valeur liée à l'eau de mer. Il n'est pas approprié d'appliquer les recommandations pour le zinc en eau douce aux environnements marins ou estuariens.

Points à examiner au moment de l'application des recommandations

Les équations pour la concentration référence et la RCQE en eau douce doivent être utilisées pour obtenir la concentration référence et la RCQE pour un site particulier, basées sur les valeurs du COD, du pH et de la dureté du plan d'eau concerné. Si les concentrations mesurées dans les échantillons d'eau ne sont exprimées que sous forme de zinc total, le CCME recommande de comparer d'abord ces échantillons à la recommandation pour le zinc dissous. S'il y a dépassement, de nouveaux échantillons devraient être prélevés pour établir les concentrations de zinc dissous et ainsi permettre une comparaison directe avec la RCQE.

Aucune extrapolation ne devrait être effectuée au-delà des conditions servant à élaborer les relations liées aux facteurs modifiant la toxicité. Aucune extrapolation ne devrait être réalisée au-delà des limites supérieures de dureté ou de COD, et en deçà de la limite inférieure de pH pour la recommandation à long terme. Il conviendrait d'extrapoler avec prudence et de communiquer avec les autorités locales pour obtenir leur avis lorsqu'il s'agit d'élaborer une RCQE plus stricte en deçà des limites de COD ou de dureté ou au-delà de la limite du pH. En ce qui a trait à la concentration référence à court terme, il s'agit des valeurs de dureté comprises entre 13,8 et 250,5 mg de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ et de concentrations de COD entre 0,3 et 17,3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. En ce qui a trait à la recommandation à long terme, il s'agit des valeurs de dureté comprises entre 23,4 et 399 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, de concentrations de COD entre 0,3 et 22,9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ et de pH entre 6,5 et 8,13. En l'absence de valeurs de COD, de dureté ou de pH, le CCME recommande de se servir de valeurs permettant d'élaborer la recommandation la plus prudente pour en assurer le caractère protecteur.

Les concentrations de fond naturelles de zinc varient grandement d'un site à un autre, et les communautés écologiques adaptées aux variations des concentrations de zinc pourraient ne pas réagir de la même façon aux rejets anthropiques de zinc que les communautés non adaptées. Ce facteur ne peut être pris en compte au moment de l'élaboration d'une recommandation nationale. Par conséquent, « lorsque la concentration de fond naturelle propre à un site dépasse la valeur d'une recommandation nationale élaborée surtout à partir de données sur la toxicité établies en laboratoire, le CCME (2007) recommande généralement d'utiliser cette concentration de fond naturelle comme valeur de référence pour établir une recommandation propre à ce site, à moins qu'il soit possible d'établir une autre valeur propre au site à l'aide des méthodes recommandées ».

Références

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological profile: Zinc. Toxicological profiles series. En ligne : <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=302&tid=54>
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ANZECC). 2000. National water quality management strategy: An introduction to the Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. En ligne : <http://www.agriculture.gov.au/water/quality/guidelines>
- Budavari, S. 1996. The Merck index. Merck & Co., Inc., Rahway, NJ.
- Cairns, J., Jr., Bahns, T.K., Burton, D.K., Dickson, K.L., Sparks, R.E. et Waller, W.T. 1971. The effects of pH, solubility and temperature upon the acute toxicity of zinc to the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus* Raf.). *Trans. Kans. Acad. Sci.* **74**(1) : 81-92.

- Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2007. Protocole d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger la vie aquatique. *Dans* Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba. En ligne : www.ccme.ca.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2018. Scientific criteria document for the development of the Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: zinc. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba. En ligne : www.ccme.ca.
- Clement Associates, U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, et U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Toxicological profile for zinc. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service, Atlanta, GA.
- Eisler, R. 1993. Zinc hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review [Biological report 10; contaminant hazard reviews report 26]. U.S. Department of the Interior Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Evans, L.J. 2000. Fractionation and aqueous speciation of zinc in a lake polluted by mining activities, Flin Flon, Canada. *Water Air Soil Pollut.* **122**(3-4) : 299-316.
- Florence, T.M. 1977. Trace metal species in fresh waters. *Water Res.* **11** : 681-687.
- Gouvernement de l'Ontario. n.d. Réseau provincial de contrôle de la qualité de l'eau (ruisseau) [ensemble de données de 2014]. Consulté le 2 mai 2016, à <https://www.ontario.ca/fr/donnees/reseau-provincial-de-contrôle-de-la-qualité-de-leau-ruisseau>
- Hiltibrand, R.C. 1971. Effects of cadmium, zinc, manganese, and calcium on oxygen and phosphate metabolism of bluegill liver mitochondria. *J. Water Pollut. Control Fed.* **43**(5) : 818-823.
- Hogstrand, C., Webb, N. et Wood, C.M. 1998. Covariation in regulation of affinity for branchial zinc and calcium uptake in freshwater rainbow trout. *J. Exp. Biol.* **201**(11) : 1809-1815.
- Hogstrand, C., Wilson, R.W., Polgar, D. et Wood, C.M. 1994. Effects of zinc on the kinetics of branchial calcium uptake in freshwater rainbow trout during adaptation to waterborne zinc. *J. Exp. Biol.* **186** : 55-73.
- Lide, D.R. 2006. CRC handbook of chemistry and physics. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Malle, K.G. 1992. Zinc in the environment. *Acta Hydroch. Hydrob.* **20**(4) : 196-204.
- Muysen, B.T.A. et Janssen, C.R. 2002. Accumulation and regulation of zinc in *Daphnia magna*: Links with homeostasis and toxicity. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **43** : 492-496.
- Muysen, B.T.A., De Schamphelaere, K.A.C. et Janssen, C.R. 2006. Mechanisms of chronic waterborne Zn toxicity in *Daphnia magna*. *Aquat. Toxicol.* **77**(4) : 393-401.
- Organisation mondiale de la santé (OMS). 2001. Critères d'hygiène de l'environnement 221 : Zinc. Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse. En ligne : www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_221/en/
- Ressources naturelles Canada (RNC). 2007. Minerals and metals: A world to discover. Main minerals and metals produced in Canada. En ligne : <http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/publications/17686>
- Newhook, R., Hirtle, H., Byrne, K. et Meek, M.E. 2003. Releases from copper smelters and refineries and zinc plants in Canada: Human health exposure and risk characterization. *Sci. Total Environ.* **301** : 23-41.
- Nriagu, J.O., Lawson, G., Wong, H.K.T. et Cheam, V. 1996. Dissolved trace metals in Lakes Superior, Erie and Ontario. *Environ. Sci. Technol.* **30** : 178-187.
- Nova Scotia Environment. 2015. Surface water: Monitoring and reporting. En ligne : novascotia.ca/nse/surface.water/surfacewater.monitoring.reporting.asp
- Regional Aquatics Monitoring Program. n.d. Monitoring database: Water quality. Consulté le 2 mai 2016, en ligne : www.ramp-alberta.org/data/Water/water.aspx
- Reimann, C. et De Caritat, P. 1998. Chemical elements in the environment: Factsheets for the geochemist and environmental scientist. Verlag Berlin Heidelberg, Germany, Springer.
- Skidmore, J.F. 1970. Respiration and osmoregulation in rainbow trout with gills damaged by zinc sulphate. *J. Exp. Biol.* **52** : 481-494.
- Skidmore, J.F. et Tovell, W.A. 1972. Toxic effects of zinc sulphate on the gills of rainbow trout. *Water Res.* **6** : 217-230.
- Spear, P.A. 1981. Zinc in the aquatic environment: Chemistry, distribution and toxicology. Conseil national de recherches, Ottawa, Ontario.
- Spry, D.J. et Wood, C.M. 1985. Ion flux, acid-base status, and blood gases in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, exposed to toxic zinc in natural soft water. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**(8) : 1332-1341.

- Stumm, W. et Morgan, J.J. 1981. Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Tri-Star Environmental Consulting. 2006. The statistical approaches and data availability for a case study comparison: Natural background levels and the CCME WQI [Rapport à Environnement Canada – Voir les coordonnées ci-dessous].
- U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. 1996. The metals translator: Guidance for calculating a total recoverable permit limit from a dissolved criterion [EPA 823-B-96-007]. En ligne : www.epa.gov/npdes/pubs/metals_translator.pdf
- Wayland, M., and Crosley, R. 2006. Selenium and other trace elements in aquatic insects in coal mine-affected streams in the Rocky Mountains of Alberta, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **50**(4) : 511-522.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2018. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – zinc, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.

Pour des questions de nature scientifique, veuillez communiquer avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Place Vincent Massey
351, boul. St-Joseph
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
ou 819-997-2800 (région de la capitale nationale)
Courriel : ec.rqe-ecg.ec@canada.ca

Also available in English.

© Conseil canadien des ministres de l'environnement 2018
Extrait de la publication n° 1300; ISBN 1-896997-36-8