Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique

ACIDE PERFLUOROOCTANOÏQUE (APFO) 2026

L'acide perfluorooctanoïque (APFO) est une substance anthropique formée d'une chaîne de huit carbones, dont sept sont perfluorés. Il a une longue chaîne de perfluorocarbone qui est à la fois hydrophobe et oléophobe, et une tête chargée qui est hydrophile. Il fait partie de la catégorie des acides perfluorocarboxyliques (APFC), sous la catégorie plus vaste des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA). L'APFO est une substance extrêmement stable et bioaccumulable dans de nombreux milieux, y compris les eaux douces et les eaux de mer canadiennes. En 2012, il a été déterminé que l'APFO répond aux critères de substance toxique en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (Environnement Canada et Santé Canada [EC et SC], 2012).

Les Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (RCQEa) concernant l'APFO suivantes (tableau 1) ont été fondées sur un examen des données toxicologiques pour l'acide (numéro de registre [NR] CAS 335-67-1), sa base conjuguée (perfluorooctanoate ou PFO) (NR CAS 45285-51-6), l'APFO ramifié (NR CAS 90480-55-0) et les principales formes de sels de l'APFO (différents NR CAS). Les recommandations pour l'APFO ne s'appliquent pas aux précurseurs de l'APFO; toutefois, les utilisateurs des recommandations doivent savoir que les précurseurs peuvent se décomposer en APFO et entraîner une accumulation d'APFO dans l'environnement. Dans le présent document, le terme APFO peut se reporter aux formes ramifiées ou linéaires de l'acide, à sa base conjuguée et à ses principales formes de sels. Dans les cas où il est important de faire la distinction entre les espèces et lorsque des connaissances techniques sont accessibles, la forme concernée est clairement indiquée : l'APFO (forme neutre), la base conjuguée PFO (forme anionique) ou la forme de sel.

Tableau 1 – RCQEa visant la protection de la vie aquatique pour l'APFO

	Concentration de référence à court terme (µg/L)	RCQEa à long terme (µg/L)
Eau douce	57 000	93
Eau de mer	AR[a]	AR[a]

Remarques :
AR = aucune recommandation
Les valeurs recommandées ont été arrondies à deux chiffres significatifs.
Les valeurs recommandées s'appliquent à la forme ionique de l'APFO.
[a] Il n'y avait pas suffisamment de données afin de répondre aux exigences minimales relatives aux données pour le calcul d'une concentration de référence à court terme ou d'une recommandation à long terme visant la protection de la vie marine (Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME], 2007).

Sources et utilisations

L'APFO et ses sels ont été utilisés dans des procédés industriels et comme composants dans des mousses extinctrices aqueuses. L'APFO a aussi été utilisé dans la production de polymères fluorés, où il peut demeurer sous forme de contaminant préoccupant potentiel lorsque le polymère fluoré sert à la fabrication de produits commerciaux et de consommation, comme des câbles et des tuyaux, des revêtements antiadhésifs sur des articles de cuisine, des revêtements hydrofuges ou antiadhésifs sur des textiles et des tapis, et des produits de soins personnels. Bien qu'il n'aurait jamais été fabriqué au Canada, l'APFO peut entrer au pays par l'importation d'articles fabriqués. Il peut aussi être formé par la décomposition de composés précurseurs (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2021). Les rejets dans l'environnement peuvent directement découler de l'utilisation commerciale ou industrielle de produits contenant de l'APFO, notamment de l'application de mousses extinctrices, des effluents d'eaux usées et des lixiviats de lieux d'enfouissement, ou du transport sur longue distance de l'APFO ou de ses précurseurs. Les mousses à formation de pellicule aqueuse (MFPA) contenant des SPFA comme l'APFO sont couramment utilisées dans les aéroports et les bases militaires pour éteindre les incendies causés par des combustibles et des liquides inflammables, où elles peuvent contaminer le sol et l'eau. La composition des MFPA peut varier par produit, et les formulations et types de SPFA contenus dans les mousses ont changé au fil du temps, et certaines formulations contiennent des précurseurs de l'APFO pouvant se décomposer en APFO (Interstate Technology and Regulatory Council [ITRC], 2022). La contamination d'APFO peut migrer hors site par les eaux souterraines, les eaux de surface et les lixiviats vers d'autres sources d'eau.

Devenir et comportement dans l'environnement

L'APFO est un surfactant et tend à s'associer à des surfaces et à des interfaces (Costanza et coll., 2019). Le coefficient de partage octanol-eau (K_{oe}) n'est pas considéré comme un indicateur fiable du comportement de répartition pour les substances perfluorées tensioactives (National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme [NICNAS], 2015). Lorsqu'il est dissous dans l'eau, l'acide libre se dissocie facilement en sa base conjuguée (PFO) (c.-à-d. sous forme anionique). L'APFO devrait avoir une faible constante de dissociation acide (pKa), de sorte qu'il est attendu que plus de 99 % du composé se retrouve sous forme de PFO dans la plupart des conditions environnementales (Goss, 2008), ce qui laisse supposer que la répartition dans l'environnement sera dominée par sa forme anionique (c.-à-d. sous forme de PFO) (EC et SC, 2012). Il est hautement hydrosoluble et faiblement volatile dans sa forme ionisée, et, par conséquent, devrait se répartir principalement dans le milieu aquatique; la répartition dans les sédiments peut se produire mais ne devrait pas être un puits important (EC et SC, 2012). Il a été montré que la teneur en carbone organique, le pH, la force ionique et la salinité influencent la répartition de l'APFO entre l'eau et les sédiments (Ahrens et coll., 2009; 2011; Ferrey et coll., 2012; SNC-Lavalin Environnement, 2012; Wang et coll., 2012; Xiao et coll., 2021). L'APFO devrait être mobile dans le sol et peut lixivier dans les eaux souterraines (ATSDR, 2021), où il peut ensuite migrer vers d'autres sources d'eau. Une fois dans l'environnement, l'APFO est considéré comme stable en raison de sa forte liaison carbone-fluor qui est résistante à la décomposition par hydrolyse, photolyse ou biodégradation. L'APFO peut être transporté sur de longues distances par les courants océaniques et les transformations oxydatives atmosphériques ainsi que par le dépôt humide et sec subséquent des précurseurs aériens (Muir et coll., 2019). L'APFO a été détecté dans des endroits éloignés comme l'Arctique canadien (Benskin et

coll., 2012; D'Agostino et Mabury, 2017; Lescord et coll., 2015; Muir et coll., 2015; Muir et coll., 2019).

Il a été constaté que la bioaccumulation et la bioamplification de l'APFO chez les mammifères terrestres et marins se font par liaison protéique plutôt que par répartition lipidique (EC et SC, 2012). Son potentiel de bioaccumulation dans les espèces aquatiques a été recensé comme faible à modéré (EC et SC, 2012). L'APFO est considéré comme persistant (EC et SC, 2012).

Concentrations environnementales

Les concentrations d'APFO dans les eaux de surface ambiantes au Canada sont généralement faibles. Toutefois, un volume plus important d'activités anthropiques peut contribuer à une hausse des concentrations, et les niveaux sont plus élevés dans les régions ayant des sources ponctuelles de pollution connues. Les sites d'eaux douces (y compris les sites de référence, urbains et d'aménagement mixte, ainsi que les sites associés à des usines de traitement des eaux usées municipales) échantillonnés un peu partout au Canada entre 2013 et 2020 avaient des concentrations d'APFO maximales et moyennes de respectivement 24,4 et 1,52 ng/L (Lalonde et Garron, 2022). Les sites d'eaux de surface en aval ou à proximité des zones où des MFPA ont été utilisées peuvent avoir des niveaux très élevés d'APFO (Bhavsar et coll., 2016; de Solla et coll., 2012; Muir et coll., 2019; Stock et coll., 2007). Les concentrations d'APFO de sites contaminés au Canada ont atteint 11 300 ng/L (11,3 µg/L) (Moody et coll., 2002). Les données disponibles ne représentent pas forcément les sites les plus contaminés, celles-ci étant limitées. En outre, la composition des MFPA ayant varié avec le temps, il n'est pas certain que les données disponibles sur les eaux de surface contaminées par la MFPA correspondent à l'utilisation de formulations de MFPA contenant des concentrations plus élevées d'APFO ou de ses précurseurs.

Effets sur la vie aquatique

Le mécanisme d'action toxique des SPFA et de l'APFO chez les organismes aquatiques constitue un domaine de recherche en cours. Les effets néfastes des acides perfluoroalkylés sur les organismes aquatiques comprennent des perturbations du métabolisme, du système reproducteur, du système immunitaire et du système endocrinien, en plus de la neurotoxicité et de la toxicité développementale. Les effets sont déclenchés par l'activation de différents récepteurs nucléaires ou d'autres facteurs, qui entraînent à leur tour des changements sur le plan de la transcription, suivis de changements du métabolisme et des tissus (Lee et coll., 2020). Les études des invertébrés montrent des signes de stress oxydatif ainsi que des effets sur les systèmes de défense antioxydants (Ankley et coll., 2020). L'exposition à l'APFO est également associée à des effets neurotoxiques chez des espèces d'invertébrés (Ankley et coll., 2020). Chez les poissons, les études ont révélé que les SPFA causent du stress oxydatif, ainsi que l'apoptose. Bien que les mécanismes par lesquels les SPFA induisent un stress oxydatif ne soient pas bien compris à ce jour, certains déclencheurs potentiels comprennent l'augmentation de la β-oxydation des acides gras ainsi que la toxicité mitochondriale (Ankley et coll., 2020). L'exposition des poissons aux SPFA est aussi associée à des perturbations endocriniennes, qui peuvent influer sur la reproduction et le développement sexuel (Ankley et coll., 2020). Il a été démontré que l'APFO est œstrogénique (Benninghoff et coll., 2011) et qu'il active les récepteurs nucléaires en jeu dans le métabolisme des lipides chez les poissons (Ankley et coll., 2020).

Calcul des recommandations pour la qualité des eaux

La concentration de référence à court terme et la RCQEa à long terme pour l'APFO dans l'eau douce ont été déterminées en suivant les procédures de calcul décrites dans le *Protocole d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger la vie aquatique* (CCME, 2007). Les indicateurs pour les sels d'APFO ont été normalisés à la forme ionisée de l'APFO avant leur inclusion dans le calcul de la recommandation afin de permettre la comparaison de la toxicité à partir d'une même base chimique (voir CCME, 2026 pour connaître les détails).

Concentration de référence à court terme

Le CCME établit des concentrations de référence à court terme à partir de données relatives aux effets graves (comme la létalité) pour des périodes définies d'exposition à court terme. Ces concentrations de référence sont des indicateurs d'effets graves sur l'écosystème aquatique et visent à renseigner sur les répercussions de situations graves, mais transitoires (p. ex., déversements et utilisation ou élimination inappropriée). Les concentrations de référence à court terme ne protègent qu'une fraction spécifique des êtres vivants et ne sont pas destinées à fournir une protection complète contre tous les effets négatifs pour toutes les formes de vie aquatique sur une période d'exposition indéfinie (CCME, 2007).

Les exigences minimales relatives aux données du CCME ont été satisfaites pour l'approche de type A (distribution de sensibilité des espèces [DSE]) en ce qui concerne l'exposition à court terme dans l'eau douce, et les données ont été incluses dans la DSE pour 32 espèces (figure 1; tableau 2) selon les critères énoncés par le CCME (2007). Lorsqu'il existait plusieurs paramètres d'effet comparables pour la même espèce, le même effet, le même stade de vie, la même durée d'exposition et la même dénomination chimique, une moyenne géométrique a été calculée. Une DSE avec inférence multimodèle et des statistiques connexes ont été produites au moyen de la trousse ssdtools et du logiciel R (Dalgarno, 2018; Thorley et Schwarz, 2018). La concentration de référence à court terme de l'APFO est la concentration dangereuse pour le cinquième centile (HC_5) de la DSE à court terme et s'élève à 57 000 µg/L (arrondie à deux chiffres significatifs).

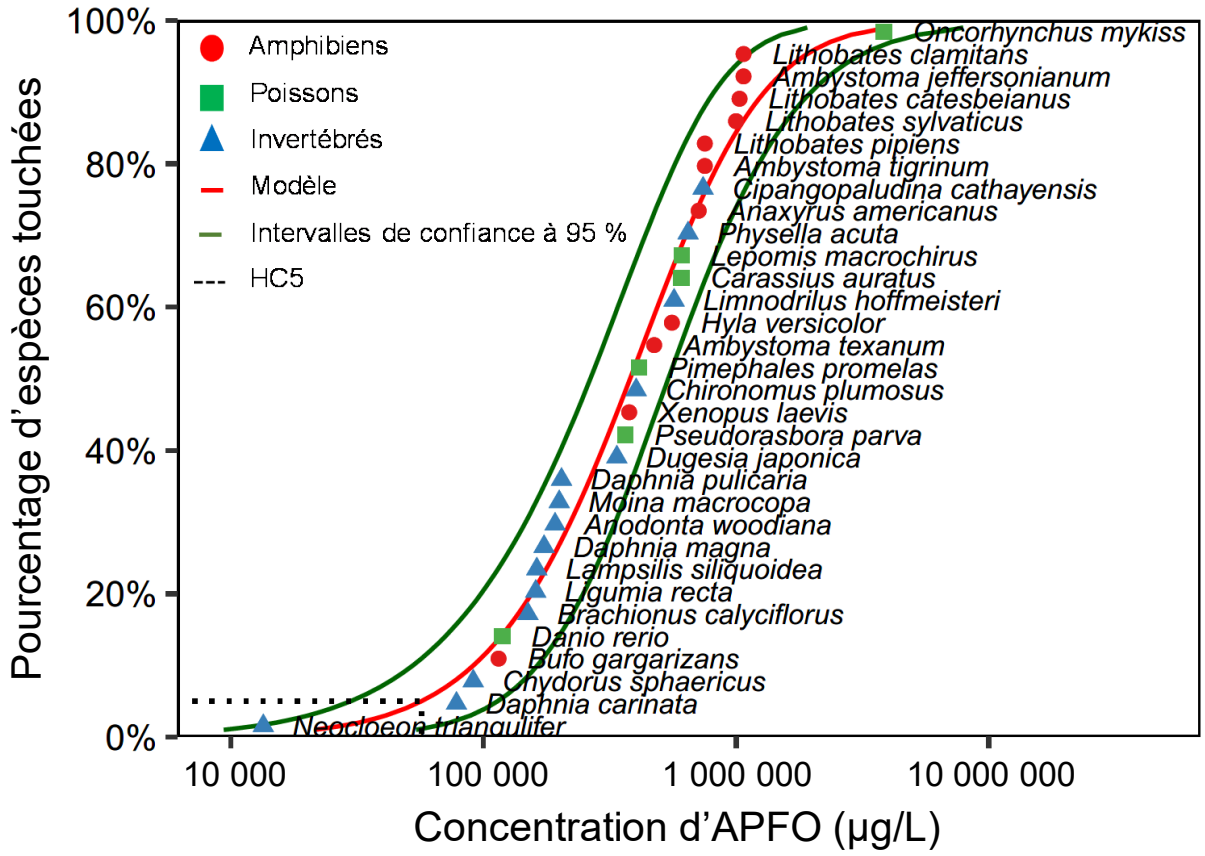

Figure 1 – DSE à court terme avec inférence multimodèle pour l'APFO dans l'eau douce
Remarque : La HC_5 est de 57 000 µg/L d'APFO.

Tableau 2 – Indicateurs utilisés pour établir la concentration de référence à court terme de l'APFO dans l'eau douce

Rang de la DSE	Espèce	Paramètre d'effet	Concentration (µg/L d'APFO)[a]
1	*Neocloeon triangulifer* (éphémère)	CL_{50}-96 h	13 451
2	*Daphnia carinata* (puce d'eau)	CE_{50}-48 h	78 200
3	*Chydorus sphaericus* (cladocère)	CE_{50}-48 h	91 100
4	*Bufo gargarizans* (crapaud asiatique)	CL_{50}-96 h	114 740
5	*Danio rerio* (poisson zèbre)	CL_{50}-96 h	118 820
6	*Brachionus calyciflorus* (rotifère)	CL_{50}-24 h	150 000
7	*Ligumia recta* (ligumie noire)	CE_{50}-24 h	161 000
8	*Lampsilis siliquoidea* (lampsile siliquoïde)	CE_{50}-48 h	162 600
9	*Daphnia magna* (puce d'eau)	CL_{50}-48 h	173 762[b]
10	*Anodonta woodiana* (anodonte chinois woodiana)	CL_{50}-48 h	192 083
11	*Moina macrocopa* (cladocère)	CE_{50}-48 h	199 510
12	*Daphnia pulicaria* (puce d'eau)	CE_{50}-48 h	203 722
13	*Dugesia japonica* (dugesiidae)	CL_{50}-96 h	337 200[b, c]
14	*Pseudorasbora parva* (pseudorasbora)	CL_{50}-96 h	365 020
15	*Xenopus laevis* (dactylèthre d'Afrique du Sud)	CL_{50}-96 h	377 466
16	*Chironomus plumosus* (moucheron)	CL_{50}-96 h	402 240
17	*Pimephales promelas* (méné tête-de-boule)	CL_{50}-96 h	413 200
18	*Ambystoma texanum* (salamandre à nez court)	CL_{50}-96 h	474 000
19	*Hyla versicolor* (rainette versicolore)	CL_{50}-96 h	557 000
20	*Limnodrilus hoffmeisteri* (vers Huo Fu tubifex)	CL_{50}-96 h	568 200

Rang de la DSE	Espèce	Paramètre d'effet	Concentration (µg/L d'APFO)[a]
21	*Carassius auratus* (cyprin)	CL_{50}-96 h	606 610
22	*Lepomis macrochirus* (crapet arlequin)	CL_{50}-96 h	608 955[c]
23	*Physella acuta* (anciennement *Physa acuta*) (physe voyageuse)	CL_{50}-96 h	645 454[c]
24	*Anaxyrus americanus* (crapaud d'Amérique)	CL_{50}-96 h	711 000
25	*Cipangopaludina cathayensis* (escargot)	CL_{50}-96 h	740 070
26	*Ambystoma tigrinum* (salamandre tigrée de l'Est)	CL_{50}-96 h	752 000
27	*Lithobates pipiens* (grenouille léopard du Nord)	CL_{50}-96 h	752 000
28	*Lithobates sylvaticus* (grenouille des bois)	CL_{50}-96 h	999 000
29	*Lithobates catesbeianus* (ouaouaron d'Amérique)	CL_{50}-96 h	1 031 620[b]
30	*Ambystoma jeffersonianum* (salamandre de Jefferson)	CL_{50}-96 h	1 070 000
31	*Lithobates clamitans* (grenouille verte)	CL_{50}-96 h	1 070 000
32	*Oncorhynchus mykiss* (truite arc-en-ciel)	CL_{50}-96 h	3 842 946[c]

Remarques :
CE_{50} = concentration avec effet, ce qui signifie que la concentration touche 50 % des organismes à l'étude; CL_{50} = concentration létale pour 50 % des organismes à l'étude; h = heure.
[a] Les concentrations avec effet sont pour la forme ionisée de l'APFO.
[b] Fondée sur une moyenne géométrique de plusieurs valeurs comparables.
[c] L'étude originale a été réalisée avec du sel d'ammonium d'APFO (perfluorooctanoate d'ammonium [PFOA]). Le paramètre d'effet a été uniformisé en µg/L d'APFO aux fins de l'inclusion dans la DSE (voir CCME, 2026 pour plus de détails).

Recommandation canadienne pour la qualité des eaux à long terme

Les recommandations sur l'exposition à long terme sont basées sur des concentrations dans l'eau visant à protéger toutes les formes de vie aquatique pendant des périodes d'exposition indéfinies. On privilégie le calcul de ces recommandations à partir des données sans effet pour les effets à long terme. Les exigences minimales relatives aux données du CCME ont été satisfaites pour l'approche de type A (c.-à-d. DSE) en ce qui concerne l'exposition à long terme dans l'eau douce, et les données ont été incluses dans la DSE pour 22 espèces (figure 2; tableau 3) selon les critères énoncés par le CCME (2007). Lorsqu'il existait plusieurs paramètres d'effet comparables pour la même espèce, le même effet, le même stade de vie, la même durée d'exposition et la même dénomination chimique, une moyenne géométrique a été calculée. Une DSE avec inférence multimodèle et des statistiques connexes ont été produites au moyen de la trousse ssdtools et du logiciel R (Dalgarno, 2018; Thorley et Schwarz, 2018). La RCQEa à long terme dans l'eau douce est la valeur HC_5 pour la DSE à long terme et correspond à 93 µg/L d'APFO (arrondie à deux chiffres significatifs).

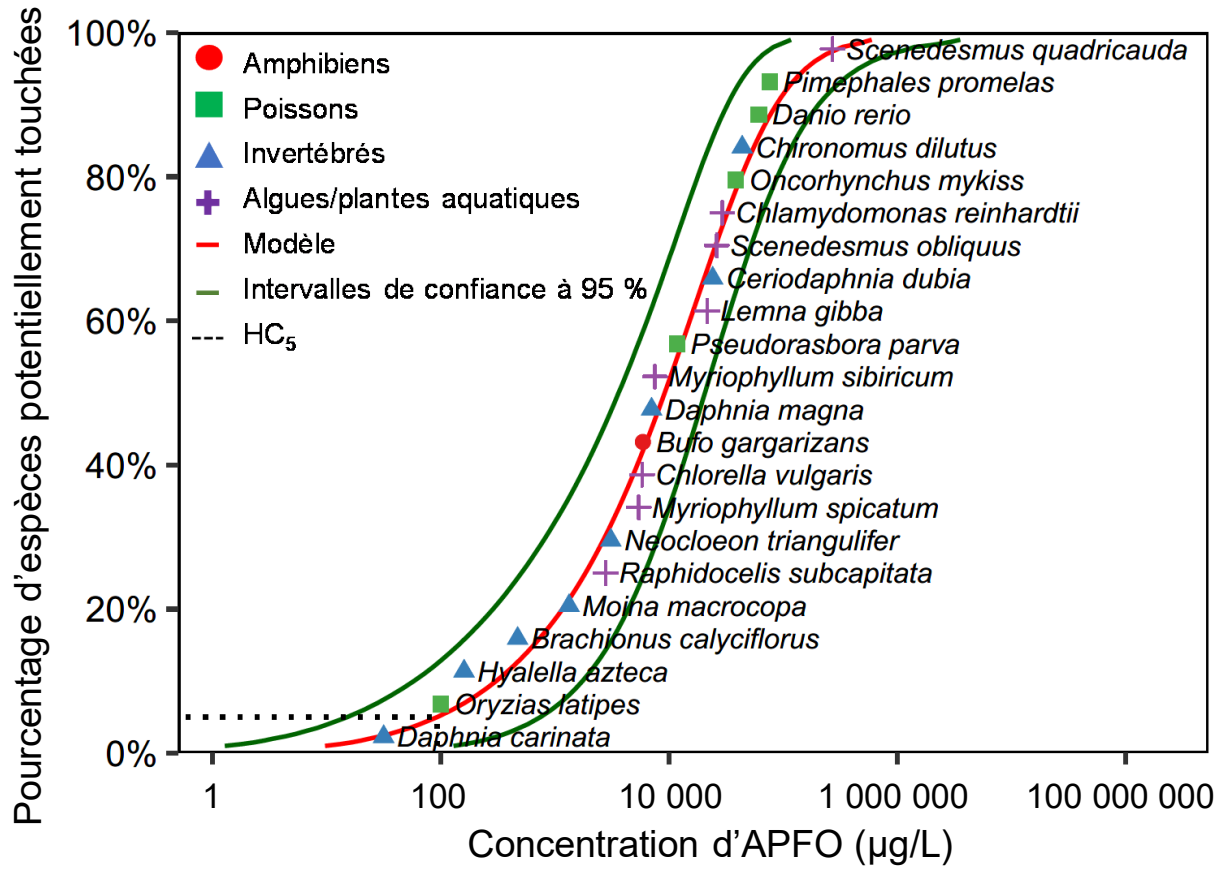

Figure 2 – DSE à long terme avec inférence multimodèle pour l'APFO dans l'eau douce
Remarque : La HC_5 est de 93 µg/L d'APFO.

Tableau 3 – Indicateurs utilisés pour déterminer la RCQEa à long terme de l'APFO dans l'eau douce

Rang de la DSE	Espèce	Paramètre d'effet	Concentration (µg/L d'APFO)[a]
1	*Daphnia carinata* (puce d'eau)	CMAT-21 j (reproduction, descendance)	31,6
2	*Oryzias latipes* (medaka)	CMEO-28 j suivant l'éclosion (survie en F1)[b]	100
3	*Hyalella azteca* (amphipode)	CE_{10}-42 j (croissance)	160
4	*Brachionus calyciflorus* (rotifère)	CE_{10} du cycle de vie (taux intrinsèque d'accroissement naturel)	471
5	*Moina macrocopa* (cladocère)	CE_{10}-7 j (reproduction, nombre de jeunes par adulte)	1 330
6	*Raphidocelis subcapitata* (algue verte)	CE_{10}-10 j (croissance, comptage des cellules)	2 785[c]
7	*Neocloeon triangulifer* (éphémère)	CSEO-14 j (survie/croissance/émergence)	≥3 085[d]
8	*Myriophyllum spicatum* (myriophylle en épi)	CE_{10}-21 j (longueur de la plante)	5 413[e]
9	*Chlorella vulgaris* (algue verte)	CI_{10}-96 h (inhibition de la croissance)	5 797
10	*Bufo gargarizans* (crapaud asiatique)	CE_{10}-30 j (longévité)	5 890
11	*Daphnia magna* (puce d'eau)	CE_{10}-21 j (nombre total de frais)	7 020

Rang de la DSE	Espèce	Paramètre d'effet	Concentration (µg/L d'APFO)[a]
12	*Myriophyllum sibiricum* (myriophylle de Sibérie)	CE_{10}-21 j (masse sèche)	7 502[e]
13	*Pseudorasbora parva* (pseudorasbora)	CE_{10}-30 j (longévité)	11 780
14	*Lemna gibba* (lenticule)	CI_{10}-7 j (inhibition de la croissance)	21 532
15	*Ceriodaphnia dubia* (puce d'eau)	CE_{10}-7 j (reproduction)	24 062[f]
16	*Scenedesmus obliquus* (algue verte)	CI_{10}-96 h (inhibition de la croissance)	26 100
17	*Chlamydomonas reinhardtii* (algue verte)	CI_{10}-96 h (inhibition de la croissance)	29 200
18	*Oncorhynchus mykiss* (truite arc-en-ciel)	CSEO-85 j (mortalité, croissance)	≥38 420[c, g]
19	*Chironomus dilutus* (moucheron)	CE_{10}-7 j (croissance)	43 649
20	*Danio rerio* (poisson zèbre)	CL_{10}-7 j (mortalité)	61 128
21	*Pimephales promelas* (méné tête-de-boule)	CSEO-21 j (croissance)	>76 000[h]
22	*Scenedesmus quadricauda* (algue verte)	CE_{50}-96 h (inhibition de la croissance)	269 630

Remarques :
CE_x = concentration avec effet, ce qui signifie que la concentration touche x % des organismes à l'étude; CI_{10} = concentration inhibitrice, ce qui signifie que la concentration cause 10 % d'inhibition; CMEO = concentration minimale avec effet observé; CSEO = concentration sans effet observé; CMAT = concentration maximale acceptable de toxiques (moyenne géométrique de la CSEO et de la CMEO); h = heure; j = jours.
[a] Les concentrations avec effet sont pour la forme ionisée de l'APFO.
[b] Étude transgénérationnelle; F0 (génération parentale) exposée à 100 µg/L pendant 14 jours, F1 (génération de descendants) exposée à 100 µg/L et mortalité évaluée à 28 jours suivant l'éclosion.
[c] L'étude originale a été réalisée avec du PFOA. Le paramètre d'effet a été uniformisé en µg/L d'APFO aux fins de l'inclusion dans la DSE (voir CCME 2026 pour plus de détails).
[d] Valeur représentée graphiquement à 3 085 µg/L dans la DSE.
[e] L'étude originale a été réalisée avec du sel de sodium d'APFO. Le paramètre d'effet a été uniformisé en µg/L d'APFO aux fins de l'inclusion dans la DSE (voir CCME, 2026 pour plus de détails).
[f] Fondée sur une moyenne géométrique de plusieurs valeurs comparables.
[g] Valeur représentée graphiquement à 38 420 µg/L dans la DSE.
[h] Valeur représentée graphiquement à 76 000 µg/L dans la DSE.

Une évaluation de la capacité de protection réalisée pour la RCQEa à long terme (CCME, 2026) a permis de conclure que la recommandation atteignait le niveau de protection visé en vertu du protocole (CCME, 2007).

Recommandation pour la qualité des eaux de mer

Il n'y avait pas suffisamment de données afin de répondre aux exigences minimales relatives aux données du CCME pour le calcul d'une concentration de référence à court terme ou d'une recommandation à long terme visant la protection de la vie aquatique marine. Il ne convient pas d'appliquer la recommandation concernant l'APFO dans l'eau douce à un milieu marin, car il pourrait y avoir une différence dans la toxicité entre les organismes d'eau douce et d'eau de mer. Les données limitées sur la toxicité disponibles indiquent que les espèces d'invertébrés marins peuvent être plus sensibles à l'APFO que les organismes d'eaux douces (CCME, 2026; Hayman et coll., 2021).

Mise en œuvre et autres points à examiner

La vie aquatique peut être chroniquement exposée à une substance en raison d'un rejet graduel des sols ou des sédiments et d'une absorption graduelle causée par les eaux souterraines ou le ruissellement, les émissions des processus industriels et le transport sur longue distance. Il est

possible que l'APFO présent aux sites contaminés migre par les eaux souterraines, les eaux de surface et la lixiviation vers des sources d'eau hors site, s'éloignant des lieux contaminés.

L'effet de l'APFO sur les organismes aquatiques peut varier d'un site à l'autre en raison de la composition taxinomique ou des caractéristiques physicochimiques (CCME, 2007). Ainsi, le présent document peut servir de base pour le calcul de recommandations et d'objectifs propres à un site, au besoin (CCME, 2003). De plus, bien que ces recommandations ne s'appliquent pas aux précurseurs intacts (c.-à-d. non dégradés) de l'APFO, il convient de tenir compte du fait que les précurseurs sont susceptibles de se décomposer en APFO et d'entraîner une accumulation dans l'environnement. Une liste des précurseurs potentiels figure dans EC et SC (2012). En outre, la présence d'autres substances toxiques pourrait interagir de façon additive ou synergique avec l'APFO. Par exemple, d'autres SPFA sont souvent présents avec l'APFO, particulièrement avec les applications de MFPA. Finalement, les recommandations ne traitent pas de l'exposition par la nourriture ou la bioaccumulation à des niveaux trophiques supérieurs. Ainsi, la vie aquatique qui est exposée à l'APFO principalement par la nourriture pourrait ne pas être adéquatement protégée par les RCQEa concernant l'APFO. Ces recommandations peuvent ne pas prévenir l'accumulation d'APFO dans la vie aquatique. Les utilisateurs doivent tenir compte de ces considérations pour mettre en œuvre ces recommandations sur leur site.

Références

Ahrens, L., Yamashita, N., Yeung, L.W.Y., Taniyasu, S., Horii, Y., Lam, P.K.S., et Ebinghaus, R. 2009. « Partitioning Behaviour of Per- and Polyfluoroalkyl Compounds between Pore Water and Sediment in Two Sediment Cores from Tokyo Bay, Japan ». *Environ. Sci. Technol*. **43** : 6969–6975.

Ahrens, L., Yeung, L.W.Y., Taniyasu, S., Lam, P.K.S., and Yamashita, N. 2011. « Partitioning of perfluorooctanoate (PFOA), perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctane sulfonamide (PFOSA) between water and sediment ». Chemosphere **85**(5): 731–737.

Ankley, G.T., Cureton, P., Hoke, R.A., Houde, M., Kumar, A., Kurias, J., Lanno, R., McCarthy, C., Newsted, J., Salice, C.J., Sample, B.E., Sepúlveda, M.S., Steevens, J., et Valsecchi, S. 2020. « Assessing the ecological risks of per- and polyfluoroalkyl substances: Current state-of-the science and a proposed path forward ». *Environ. Toxicol. Chem*. **00**(00) : 1–42.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2021. *Toxicological Profile for Perfluoroalkyls.* U.S. Department of Health and Human Services. Mai. http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf.

Benninghoff, A.D., Bisson, W.H., Koch, D.C., Ehresman, D.J., Kolluri, S.K., et Williams, D.E. 2011. « Estrogen-like activity of perfluoroalkyl acids in vivo and interaction with human and rainbow trout estrogen receptors in vitro ». *Toxicol Sci*. **120** : 42–58.

Benskin, J.P., Muir, D.C.G., Scott, B.F., Spencer, C., De Silva, A.O., Kylin, H., Martin, J.W., Morris, A., Lohmann, R., Tomy, G., Rosenberg, B., Taniyasu, S., et Yamashita, N. 2012. « Perfluoroalkyl acids in the Atlantic and Canadian arctic oceans ». *Environ. Sci. Technol*. **46**(11) : 5815–5823. DOI : 10.1021/es300578x.

Bhavsar, S.P., Fowler, C., Day, S., Petro, S., Gandhi, N., Gewurtz, S.B., Hao, C., Zhao, X., Drouillard, K.G., et Morse, D. 2016. « High levels, partitioning and fish consumption-based water guidelines of perfluoroalkyl acids downstream of a former firefighting training facility in Canada ». *Environ. Int*. **94** : 415–423.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 2003. *Guide concernant l'application propre à un lieu des Recommandations pour la qualité des eaux du Canada : procédures d'établissement d'objectifs numériques de qualité de l'eau*. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux en vue de la protection de la vie aquatique. CCME, Winnipeg. https://ccme.ca/fr/res/recommandations-pour-la-qualit-des-eaux-au-canada-procdures-dtablissement-dobjectifs-numriques-de-qualit-de-leaufr.pdf.

CCME. 2007. *Protocole d'élaboration des recommandations pour la qualité des eaux en vue de protéger la vie aquatique.* CCME, Winnipeg. https://ccme.ca/fr/res/protocole-delaboration-des-recommandations-pour-la-qualite-des-eaux-en-vue-de-proteger-la-vie-aquatique-2007-fr.pdf.

CCME. 2026. *Document scientifique pour l'élaboration de recommandations canadiennes pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique : acide perfluorooctanoïque (APFO)*. CCME, Winnipeg.

Costanza, J., Arshadi, M., Abriola, L.M., et Pennell, K.D. 2019. « Accumulation of PFOA and PFOS at the air-water interface ». *Environ. Sci. Technol. Lett*. **6, 8** : 487–491.

D'Agostino, L.A. et Mabury, S.A. 2017. « Certain Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances Associated with Aqueous Film Forming Foam Are Widespread in Canadian Surface Waters ». *Environ. Sci. Technol*. **51**(23) : 13603–13613. American Chemical Society. DOI : 10.1021/acs.est.7b03994.

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. https://bcgov-env.shinyapps.io/ssdtools/.

De Solla, S.R., De Silva, A.O., et Letcher, R.J. 2012. « Highly elevated levels of perfluorooctane sulfonate and other perfluorinated acids found in biota and surface water downstream of an international airport, Hamilton, Ontario, Canada ». *Environ. Int*. **39** : 19–26.

EC et SC (Environnement Canada et Santé Canada). 2012. *Rapport d'évaluation préalable – Acide pentadécafluorooctanoïque, ses sels et ses précurseurs*. Août. www.ec.gc.ca/ese-ees/default.asp?lang=Fr&n=370AB133-1.

Ferrey, M.L., Wilson, J.T., Adair, C., Su, C., Fine, D.D., Liu, X., et Washington, J.W. 2012. « Behaviour and Fate of PFOA and PFOS in Sandy Aquifer Sediment ». *Ground Water Monit. Remediat*. **32**(4) : 63–71.

Goss, K.-U. 2008. « The pKa values of PFOA and other highly fluorinated carboxylic acids ». *Environ. Sci. Technol*. **42**(2) : 456–458.

Hayman, N.T., Rosen, G., Colvin, M.A., Conder, J., et Arblaster, J.A. 2021. « Aquatic toxicity evaluations of PFOS and PFOA for five standard marine endpoints ». *Chemosphere*. **273** : 129699. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2021.129699.

ITRC (Interstate Technology and Regulatory Council). 2022. *Per- and Polyfluoroalkyl substances Technical and Regulatory Guidance*. Washington : Interstate Technology and Regulatory Council. Juin. https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2023/12/Full-PFAS-Guidance-12.11.2023.pdf.

Lalonde, B. et Garron, C. 2022. « Perfluoroalkyl substances (PFASs) in the Canadian freshwater environment ». *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. **82** : 581–591.

Lee, J.W., Seong, P.K., Yu, S.D., et Kim, P. 2020. « Adverse effects of perfluoroalkyl acids on fish and other aquatic organisms: A review ». *Sci. Total Environ*. **707** : 135334.

Lescord, G.L., Kidd, K.A., De Silva, A.O., Williamson, M., Spencer, C., Wang, X., et Muir, D.C.G. 2015. « Perfluorinated and polyfluorinated compounds in lake food webs from the Canadian High Arctic ». *Environ. Sci. Technol*. **49**(5) : 2694–2702. DOI : 10.1021/es5048649.

Moody, C.A., Martin, J.W., Kwan, W.C., Muir, D.C.G., et Mabury, S.A. 2002. « Monitoring perfluorinated surfactants in biota and surface water samples following an accidental release of fire-fighting foam into Etobicoke Creek ». *Environ. Sci. Technol*. **36** : 545–551.

Muir, D., Bossi, R., Carlsson, P., Evans, M., De Silva, A., Halsall, C., Rauert, C., Herzke, D., Hung, H., Letcher, R., Rigét, F., et Roos, A. 2019. « Levels and trends of poly- and perfluoroalkyl substances in the Arctic environment – An update ». *Emerg. Contam*. **5** : 240–271. DOI : 10.1016/j.emcon.2019.06.002.

Muir, D.C.G., Fisk, A., Lehnherr, I., Lohmann, R., et Amarualik, P. 2015. *Surveillance communautaire de l'eau de mer pour les contaminants organiques et le mercure dans l'Arctique canadien - Résumé de recherche effectuées en 2014–2015 dans le cadre du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord.* Affaires autochtones et du Nord Canada, Ottawa. 289–296.

NICNAS (National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme). 2015. *Perfluorooctanoic acid (PFOA) and its direct precursors: Environment tier II assessment*. 24 avril. Gouvernement de l'Australie.

SNC-Lavalin Environnement. 2012. *Ecological Toxicity Criteria Derivation for Perfluorinated Compounds. Numéro de projet 12-318*. Préparé pour Services publics et Approvisionnement Canada. Décembre. Ottawa.

Stock, N.L., Furdui, V.I., Muir, D.C.G., et Mabury, S.A. 2007. « Perfluoroalkyl contaminants in the Canadian arctic: Evidence of atmospheric transport and local contamination ». *Environ. Sci. Technol*. **41**(10) : 3529–3536. DOI : 10.1021/es062709x.

Thorley, J., et Schwarz, C. 2018. « ssdtools: An R package to fit Species Sensitivity Distributions ». *J. Open Source Softw*. **3**(31) : 1082.

Wang, F., Liu, C., et Shih, K. 2012. « Adsorption Behavior of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoate (PFOA) on Boehmite ». *Chemosphere*. **89**(8) : 1009–1014.

Xiao, S.-K., Wu, Q., Pan, C.-G., Yin, C., Wang, Y.-H., et Yu, K.-F. 2021. « Distribution, partitioning behavior and potential source of legacy and alternative per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in water and sediments from a subtropical Gulf, South China Sea ». *Environ. Res*. **201** : 111485.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2026. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique — acide perfluorooctanoïque (APFO)*. Dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba.

Also available in English.

© Conseil canadien des ministres de l'environnement 2026
Extrait de la publication no 1300; ISBN 1-896997-36-8