



**Recommandations canadiennes
pour la qualité du sol et des
eaux souterraines visant la
protection de l'environnement et
de la santé humaine**

**SULFONATE DE
PERFLUOROOCETANE
(SPFO)
2021**

Le sulfonate de perfluorooctane (SPFO) ($C_8HF_{17}SO_3$) est un composé d'origine anthropique extrêmement stable qui est présent en quantité importante dans de nombreux milieux environnementaux. Le SPFO est présent dans plusieurs produits, comme les mousses extinctrices, les insecticides, les revêtements de tissus et de papiers, de même que les produits de nettoyage. Le SPFO peut être rejeté dans l'environnement à la suite de sa production, de son utilisation (dans les produits commerciaux, industriels, ou de consommation) ou de son élimination, ou peut être indirectement issu de la biodégradation, de la photo-oxydation, de la photolyse et de l'hydrolyse des précurseurs contenus dans les substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA).

Le SPFO comprend une chaîne perfluorocarbonée de huit atomes de carbone connectés à un groupe sulfonate à une extrémité. Il fait partie de la catégorie des acides perfluoroalkylés. Le SPFO peut exister sous forme d'acide, de divers sels (p. ex., potassium, ammonium, lithium, diéthanolamine) et de polymères (Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE], 2002), ou, plus fréquemment, sous forme d'anion (Barber et coll., 2007). Le SPFO n'est pas présent à l'état naturel; il est rejeté dans l'environnement à partir de sources anthropiques (Butt et coll., 2010). Les concentrations mesurées de SPFO dans le sol, les sédiments, l'air, les eaux de surface, l'eau potable, les précipitations, le biote, la neige, les aliments et les fluides/tissus humains au Canada et à l'étranger sont présentées dans l'annexe A de CCME (2021).

Le SPFO est fabriqué à l'échelle mondiale depuis plus de 50 ans mais n'a jamais été fabriqué au Canada. La société 3M a fabriqué du SPFO et ses précurseurs à base de fluorure de perfluorooctane sulfonyle aux États-Unis jusqu'en 2001, et cette production a été diminuée progressivement et de façon volontaire pour prendre fin en 2002 (Agency for Toxic Substances and Disease [ATSDR], 2015). De 1997 à 2000, environ 600 tonnes de composés d'alkyles perfluorés ont été importées au Canada, principalement des États-Unis. Le SPFO et ses précurseurs représentaient environ 43 % de cette quantité, et le SPFO seul moins de 2 % (publié dans Environnement Canada [EC], 2006a; EC, 2006b). Au Canada, la fabrication, l'utilisation et l'importation de SPFO et de composés à base de SPFO sont régis par le *Règlement sur certaines substances toxiques interdites (2012)* (Gouvernement du Canada, 2012).

Les recommandations canadiennes pour la qualité des sols (RCQS) sont des concentrations numériques ou des énoncés circonstanciés qui indiquent les niveaux de substances toxiques ou d'autres paramètres dans le sol qui sont recommandés pour maintenir, améliorer ou protéger la qualité environnementale ou la santé humaine. Elles sont élaborées au moyen de procédures définies dans CCME (2006) pour obtenir des valeurs scientifiquement justifiables qui sont cohérentes partout au Canada. Les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux

souterraines (RCQES) du présent rapport ont été établies selon les procédures décrites dans CCME (2015).

Les RCQS et les RCQES présentées dans ce feuillet d'information sont génériques. Les conditions particulières à chaque site doivent être prises en considération au moment d'utiliser ces valeurs (voir CCME [1996] pour obtenir de l'orientation sur l'élaboration d'objectifs de qualité des sols ou des eaux souterraines spécifiques à chaque site) ou consulter les autorités gouvernementales compétentes concernées pour les procédures de mise en œuvre applicables. CCME (2006) fournit d'autres lignes directrices relatives à la mise en œuvre des recommandations génériques. Les recommandations pour la qualité des sols (RQS) sont calculées pour se rapprocher d'un niveau « sans effet ou à faible effet » (soit un niveau seuil) en se fondant uniquement sur l'information toxicologique et d'autres données scientifiques (devenir, comportement, etc.) disponibles à propos de la substance d'intérêt. Ces recommandations ne tiennent pas compte des facteurs socioéconomiques ou technologiques. Les gestionnaires de site doivent tenir compte de ces facteurs non scientifiques en fonction de chaque site dans le cadre du processus de gestion des risques.

Le tableau 1 présente les RQS concernant le SPFO visant la protection de l'environnement et de la santé humaine. Le tableau 2 présente les recommandations pour la qualité des eaux souterraines (RQES) concernant le SPFO visant la protection de l'environnement et de la santé humaine. Ce feuillet d'information donne un aperçu des facteurs décisionnels et de l'information utilisés pour calculer les recommandations pour la qualité des sols et celles pour la qualité des eaux souterraines. Un document scientifique décrit les données et le calcul des recommandations pour l'environnement et la santé humaine (CCME, 2021).

Tableau 1. Recommandations pour la qualité des sols concernant le SPFO (mg/kg poids sec [PS])

	Vocation du terrain			
	Vocation agricole	Résidentielle/ parc	Vocation commerciale	Vocation industrielle
Recommandation définitive	0,01	0,01	0,01	0,01
RQSSH	0,01	0,01	0,01	0,01
Voie limitante pour la RQSSH	Protection des eaux souterraines potables	Protection des eaux souterraines potables	Protection des eaux souterraines potables ^a	Protection des eaux souterraines potables ^a
RQSE	0,01	0,01	0,2 (texture grossière) ^b 0,1 (texture fine) ^c	0,2 (texture grossière) ^b 0,1 (texture fine) ^c
Voie limitante pour la RQSE	Ingestion de sol et de nourriture pour le bétail et la faune ^d	Ingestion de sol et de nourriture pour le bétail et la faune ^d	Eaux souterraines (vie aquatique) ^e	Eaux souterraines (vie aquatique) ^e

Remarques : RQSE = recommandation pour la qualité des sols visant la protection de l'environnement; RQSSH = recommandation pour la qualité des sols visant la protection de la santé humaine.

^a Pour des pH entre 5 et 7. Basé sur un K_{co} médian de 1 445 L/kg; le K_{co} du SPFO est très variable (229 à 6 310 L/kg; Franz Environmental Inc., 2014), aussi le niveau de protection offert par cette RQSEP peut ne pas être approprié pour tous les sites. Lorsque les eaux souterraines sont utilisées comme source d'eau potable, les concentrations des eaux souterraines doivent être comparées directement à la valeur de la RQSEP. Lorsque les eaux souterraines sont utilisées à d'autres fins (p. ex. l'irrigation des produits), l'évaluation doit être spécifique au site.

^b Un sol est considéré comme sol à grains grossiers lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen supérieur à 75 µm ($D_{50} > 75 \mu\text{m}$).

^c Un sol est considéré comme sol à grains fins lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen inférieur à 75 µm ($D_{50} < 75 \mu\text{m}$).

^d De nombreuses études toxicologiques sur les organismes du sol ont fait l'objet d'une évaluation critique (c.-à-d. les plantes, les invertébrés, les mammifères et les oiseaux) pour les diverses vocations de terrain/voies d'exposition. Les consommateurs secondaires (organismes qui consomment à la fois des plantes et des invertébrés du sol) se sont révélés être les plus sensibles, aussi la recommandation pour la qualité des sols visant la protection de l'environnement est basée sur ces récepteurs.

^e La recommandation pour la qualité des eaux de surface utilisée pour calculer la concentration dans les eaux souterraines visant la protection de la vie aquatique des eaux de surface est directement tirée des Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement (RFQE; ECCC, 2018) et est identique à celles-ci. Les RFQE sont basées sur des données de toxicité pour un large éventail d'espèces aquatiques (poissons, invertébrés aquatiques, amphibiens et plantes aquatiques). Voir ECCC (2018) pour les détails de calcul.

Tableau 2. Recommandations pour la qualité des eaux souterraines concernant le SPFO (mg/L) en tenant compte des récepteurs humains et écologiques

	Types de sol ^a	
	Grossier	Fin
Recommandation définitive pour la qualité des eaux souterraines (RQES_D)^b	0,0006	0,0006
Recommandation pour la qualité des eaux souterraines visant la protection de la santé humaine (RQES _{EP}) ^c	0,0006	0,0006
Recommandation pour la qualité des eaux souterraines visant la protection des récepteurs écologiques (RQES _E) ^d	0,007	0,007
Contact avec les eaux souterraines (RQES _{CEs}) par les organismes inféodés au sol	1	1
Protection de la vie aquatique d'eau douce (RQES _{VAD}) ^e	0,007	0,007
Protection de la vie aquatique marine (RQES _{VAM})	NC	NC
Protection de l'eau d'abreuvement du bétail (RQES _{EA})	0,3	0,3
Protection de l'eau d'irrigation (RQES _{IR})	NC	NC
Aspects liés à la gestion (RQES _G) – solubilité de 50%	200	200

NC = non calculée

^a Un sol est considéré comme sol à grains grossiers lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen supérieur à 75 µm ($D_{50} > 75 \mu\text{m}$). Un sol est considéré comme sol à grains fins lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen inférieur à 75 µm ($D_{50} < 75 \mu\text{m}$).

^b La recommandation définitive pour la qualité des eaux souterraines (RQES_D) est la recommandation propre à la voie d'exposition la plus faible pour des récepteurs humains et écologiques, et tient compte d'autres facteurs de gestion comme la solubilité de la substance, les limites de détection analytique et les concentrations de fond.

^c Les RQES_{EP} sont adoptées directement à partir des Recommandations canadiennes pour la qualité de l'eau potable, élaborées par Santé Canada (CCME, 2015). Par conséquent, la RQES_{EP} est équivalente à la concentration maximale acceptable (CMA) de 0,0006 mg/L établie par Santé Canada (SC, 2018a).

^d La recommandation pour la qualité des eaux souterraines pour la protection de l'environnement (RQES_E) est la recommandation propre à la voie d'exposition pour les récepteurs écologiques la plus faible.

^e La RQES_{VAD} est la concentration dans les *eaux souterraines* qui devrait protéger la vie aquatique d'eau douce contre les répercussions pouvant être causées par le transport potentiel du SPFO provenant du sol dans les eaux souterraines, et son rejet subséquent dans un plan d'eau de surface. Cette voie peut être applicable à tous les terrains, toutes vocations confondues, sur lesquels se trouve un plan d'eau de surface ayant une vie aquatique (c.-à-d. dans un rayon de 10 km du lieu). Lorsque la distance du plan d'eau de surface le plus près est supérieure à 10 km, l'application de la voie devrait être évaluée au cas par cas en tenant compte des conditions propres au lieu.

Devenir et comportement dans l'environnement

Le SPFO a des propriétés hydrophobes et hydrophiles, et agit donc comme un surfactant (Ahrens, 2011; Jia et coll., 2010) ayant tendance à s'accumuler aux interfaces entre les milieux (Interstate Technology Regulatory Council [ITRC], 2018). La tension de vapeur et la solubilité du SPFO (de même que sa constante de la loi de Henry) indiquent qu'il est plus susceptible d'être libéré dans l'eau que dans l'air (Giesy et Kannan, 2002; Weremiuk et coll., 2006) et qu'il est essentiellement

non volatil. De plus, il restera en solution jusqu'à ce qu'il soit adsorbé sur des particules ou jusqu'à ce qu'il soit assimilé par des organismes (EC, 2006a). Le SPFO s'adsorbe sur les sédiments, les sols et les boues (3M, 2003; Beach et coll., 2006; Hekster et coll., 2002). Le SPFO a une demi-vie par hydrolyse de 41 ans dans l'eau (calculée à un pH pertinent pour l'environnement) (publié dans ATSDR, 2015 et EC, 2006a).

On retrouve le SPFO dans les sols à de grandes distances de toute source connue; toutefois, les rejets directs (comme les mousses à formation de pellicule aqueuse et l'application de biosolides ou la lixiviation des lieux d'enfouissement) sont les principales sources de sols contaminés par le SPFO. Une fois rejeté dans l'environnement, le SPFO est mobile et peut se déplacer dans les sols et contaminer les eaux souterraines (ITRC, 2018). Une étude de bilan massique réalisée par Filipovic et coll. (2015) indique qu'une partie importante des acides perfluoroalkylés provenant des dépôts atmosphériques est stockée dans le sol, où elle peut constituer une source de contamination des eaux souterraines. Strynar et coll. (2012) estiment qu'environ 6 % de la production totale de SPFO est distribuée mondialement dans les sols de surface (estimation fondée sur une concentration médiane de SPFO dans le sol de surface de 0,472 ng/g).

Le transport du SPFO sur de longues distances est probablement attribuable aux conditions météorologiques et aux courants océaniques (Armitage et coll., 2006; Ellis et coll., 2004; Martin et coll., 2004); ce qui expliquerait leur présence à des localisations éloignées des sources ponctuelles. Des dépôts secs et humides ont lieu, ainsi qu'une lixiviation des sols aux eaux souterraines (Strynar et coll., 2012).

L'ITRC (2018) fournit de l'information supplémentaire sur le devenir et le transport des SPFA selon leur source principale, y compris l'utilisation des mousses à formation de pellicule aqueuse.

Plutôt que de se libérer dans les tissus lipidiques, le SPFO se lie aux protéines dans les organismes (Kerstner-Wood et coll., 2003). EC (2006a, 2006b) a conclu que le poids de la preuve indique que le SPFO est biocumulatif. Il a également été démontré que le SPFO se bioamplifie dans une chaîne alimentaire végétation-caribou (Muller et coll., 2011). En raison de son comportement de bioaccumulation/bioamplification, les recommandations pour la qualité des sols visant la protection de l'environnement tiennent compte non seulement de la toxicité du SPFO pour les plantes et les invertébrés en contact direct avec les sols, mais également de la toxicité du SPFO dans les organismes à trois niveaux de la chaîne alimentaire terrestre.

Comportement et effets dans le biote

Plantes et invertébrés terrestres

Les valeurs de toxicité découlant de l'exposition au SPFO par contact direct avec le sol sont disponibles pour huit espèces de plantes : luzerne [*Medicago sativa*], ivraie [*Lolium perenne*], soya [*Glycine max*], laitue [*Lactuca sativa*], lin [*Linum usitatissimum*], tomate [*Lycopersicon esculentum*], oignon [*Allium cepa*] et pak choi [*Brassica chinensis*] (Brignole et coll., 2003; Zhao et coll., 2011). Parmi les effets observés, notons une diminution de l'émergence des plantules, de

la hauteur des plants, du poids et de la survie de ces plantes à des concentrations de SPFO dans les sols variant de 3,9 à 393 mg/kg.

En ce qui concerne les invertébrés, la documentation fournit des données sur les vers de terre (*Eisenia fetida*) (Joung et coll., 2010; Stubberud, 2006). Environnement Canada a réalisé des essais probants avec le collembole (*Folsomia candida*) et l'oribate (*Oppia nitens*) qui ont démontré des effets mesurés pour des concentrations variant de 12 à 256 mg/kg en ce qui concerne le nombre de juvéniles/cocons et la survie (EC, 2015). Selon l'information disponible, les plantes et les invertébrés ont des sensibilités au SPFO semblables, les plantes se montrant légèrement plus sensibles que les invertébrés.

Vertébrés, oiseaux et autre faune

Les données de toxicité sur de vertébrés non humains (singes cynomolgus [*Macaca fascicularis*], lapins [*Oryctolagus cuniculus*], souris et rats) et des espèces aviennes (colins de Virginie du Nord [*Colinus virginianus*], cailles du Japon [*Coturnix japonica*] et canards colverts [*Anas platyrhynchos*]) ont été examinées. Parmi les effets observés, notons une augmentation de la masse du foie, ainsi que la présence d'adénomes hépatocellulaires, la prolifération des péroxysomes, une réduction de la taille des testicules et une modification de la spermatogenèse (EC, 2006a; EC, 2006b; Gallagher et coll., 2003; Luebker et coll., 2005; York, 1999). Comme aucune donnée sur la toxicité n'était disponible pour la faune, la dose minimale avec effet néfaste pour consommateur primaire (DE_{1C}) a été fondée sur la dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) découlant d'une étude de deux ans sur la toxicité chronique du régime alimentaire réalisée sur des rats (Covance Laboratories Inc., 2002). Selon cette étude, une dégénération hépatocellulaire a lieu lorsque le régime alimentaire a une concentration de SPFO de 2 000 µg/kg de nourriture. Compte tenu de l'apport alimentaire hebdomadaire au cours de la période d'essai de 104 semaines, cela correspond à la dose minimale produisant un effet observé (DMEO) de 108,6 µg de SPFO/kg PC/jour. Cette valeur a été utilisée pour calculer la dose journalière seuil produisant un effet pour la recommandation relative à l'ingestion de sol et de nourriture des espèces mammifères. En ce qui concerne les espèces aviennes, la DE_{1C} fondée sur la DMENO a été déterminée chez les colins de Virginie du Nord, soit 772 µg/kg PC/jour. Cela a entraîné une diminution de la survie des jeunes 14 jours après l'exposition (Newsted et coll., 2007). Les données de laboratoire sur la toxicité pour les mammifères et les espèces aviennes ont servi au calcul des recommandations pour la qualité des sols visant la protection des espèces de la faune sauvages primaires, secondaires et tertiaires (p. ex., musaraigne, souris, rouge-gorge, loup et renard), qui peuvent être exposées au SPFO par la chaîne alimentaire.

Effets sur la santé chez l'homme et les animaux de laboratoire

Le SPFO est facilement absorbé par le tube digestif et, dans une moindre mesure, par les poumons et la peau. Le SPFO circule dans tout l'organisme, notamment dans le système nerveux central. Il est présent dans le lait maternel et peut aussi traverser le placenta pour se rendre au fœtus.

Beaucoup d'effets nocifs observés chez les humains et les animaux de laboratoire ont été associés à une exposition au SPFO, notamment une modification du système immunitaire, des effets hépatiques, une modification de l'homéostasie des lipides et du glucose, une perturbation endocrinienne (p. ex., thyroïde) et neuroendocrine, une neurotoxicité, des effets sur la reproduction et le développement, et des tumeurs (p. ex., ATSDR, 2015; EFSA, 2008; SC, 2006). La demi-vie du SPFO est beaucoup plus longue chez les humains (en moyenne d'environ 4 à 5 ans) que chez les autres animaux (p. ex., 2 à 70 jours chez les rongeurs; 110 à 132 jours chez les singes). Cette situation semble indiquer une charge corporelle beaucoup plus importante chez les humains pour une dose d'exposition équivalente (externe).

La cancérogénéité du SPFO n'a pas été examinée par le Centre international de recherche sur le cancer, par l'U.S. EPA Integrated Risk Information System ou par l'U.S. National Toxicology Program. Le SPFO a été déclaré non génotoxique dans beaucoup d'essais. Santé Canada a calculé une dose journalière admissible (DJA) de 6×10^{-5} mg/kg PC/jour, qui protège tous les indicateurs de SPFO (cancérigènes et non cancérigènes) (SC, 2018a).

Le SPFO et l'acide perfluorooctanoïque (APFO), une autre SPFA, ont des effets nocifs semblables chez les humains. Lorsque ces deux substances sont présentes dans un lieu contaminé, on doit tenir compte de l'additivité des risques.

Élaboration des recommandations

Les recommandations canadiennes pour la qualité du sol et des eaux souterraines sont calculées pour différentes vocations de terrain conformément au processus énoncé dans CCME (2006, 2015). Le document scientifique d'appui (CCME, 2021) fournit des détails sur les données toxicologiques et les méthodes de calcul utilisées pour établir les recommandations pour la qualité des sols concernant le SPFO. Le tableau 1 contient les recommandations définitives pour la qualité des sols, le tableau 2 contient les recommandations pour la qualité des eaux souterraines et le tableau 3 contient les valeurs des recommandations détaillées du sol avec les mécanismes de contrôle.

Recommandations pour la qualité des sols : environnement

La recommandation définitive pour la qualité des sols visant la protection de l'environnement pour le SPFO, pour chaque vocation de terrain, est la plus faible des valeurs recommandées des voies d'exposition et des mécanismes de contrôle applicables (voir le tableau 1). Les recommandations pour la qualité des sols concernant le SPFO ont été établies en tenant compte des organismes (plantes et invertébrés) qui sont en contact direct avec le sol. Comme le SPFO est une substance ayant une capacité de bioamplification, on a aussi tenu compte de la protection des consommateurs primaires, secondaires et tertiaires exposés au SPFO par le contact avec le sol et l'ingestion d'aliments. La recommandation pour la qualité des sols pour la voie d'ingestion de sol et d'aliments est la recommandation la plus faible (c.-à-d. l'exposition la plus élevée) qui a envisagé des scénarios pour les consommateurs primaires, secondaires et tertiaires. La musaraigne cendrée avait l'exposition la plus élevée et la recommandation la plus faible du fait de son faible poids

corporel (0,0041 kg), d'un taux élevé d'ingestion d'aliments (0,34 kg d'aliments humides/kg PC/jour) par rapport à son poids corporel et d'une alimentation dominée par les insectes et invertébrés (95 %), qui se sont avérés bioaccumuler le SPFO (FBC des sols aux invertébrés 10,9) dans la plus grande mesure. La musaraigne est une espèce indicatrice pertinente étant donné sa présence répandue au Canada. En raison du manque de données sur la toxicité pour la musaraigne, l'indicateur de la toxicité pour le mammifère le plus sensible (le rat) a été adapté à la musaraigne pour tenir compte du poids corporel, du taux d'ingestion de nourriture, du taux d'ingestion de sol, de la concentration de SPFO dans les proies et de la bioaccumulation des sols aux proies. Les équations détaillées se trouvent dans CCME (2006) et les valeurs d'entrée sont fournies dans l'annexe L de CCME (2021).

Comme le transport des contaminants du sol aux eaux souterraines peut toucher la qualité de l'eau des plans d'eau de surface, des tranchées, ou des puits d'eau servant à l'abreuvement du bétail ou à l'irrigation des cultures, on a aussi calculé des recommandations pour la qualité des sols pour ces voies. En raison d'un manque de données, la vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie n'a pas été calculée. Comme il est possible, sous l'action de l'érosion éolienne, que les sols des terrains commerciaux et industriels migrent hors-site jusqu'à des terrains dont la vocation est plus sensible, des RQS pour le SPFO aux fins de la vérification portant sur la migration hors-site des terrains commerciaux ou industriels ont aussi été calculées. Les plans d'eau de surface à proximité peuvent être touchés par le sol contaminé; par conséquent, la recommandation pour la qualité des sols visant à protéger la vie aquatique d'eau douce de surface (RQSVAD) a aussi été calculée (les équations se trouvent dans CCME, [2006]; les valeurs d'entrée sont fournies dans l'annexe L de CCME, [2021]). Bien qu'il soit reconnu qu'un grand nombre de composés perfluorés peuvent coexister sur un site, les recommandations environnementales ne sont fournies que pour le SPFO à l'heure actuelle. Les recommandations pour les autres composés perfluorés n'entrent pas dans le cadre de ce document.

Recommandations pour la qualité des eaux souterraines : environnement

La recommandation définitive pour la qualité des eaux souterraines (RQES_D) pour le SPFO est une concentration dans les eaux souterraines qui tient compte de : i) la protection des organismes inféodés au sol (p. ex., les plantes) (RQES_{CES}), ii) la protection de la vie aquatique d'eau douce de surface (RQES_{VAD}), iii) l'abreuvement du bétail (RQES_{EA}) et iv) la solubilité du SPFO. Les équations du modèle sur le devenir et le transport utilisées pour calculer les recommandations de la RQES sont décrites dans CCME (2015). Les hypothèses hydrologiques et hydrogéologiques de la RQS sont présentées dans l'annexe L de CCME (2021).

Recommandations pour la qualité des sols : santé humaine

Le SPFO est considéré comme non génotoxique et comme ayant un seuil d'effet critique. Pour ce type de contaminant, il est nécessaire d'avoir une dose journalière admissible (DJA) pour calculer les recommandations pour la qualité des sols visant la protection de la santé humaine. La DJA calculée par Santé Canada (60 ng/kg PC/jour) (SC, 2018a; CCME, 2021), basée sur l'hypertrophie hépatocellulaire chez le rat (Butenhoff et coll., 2012) a été utilisée pour dériver les recommandations pour la qualité des sols.

Les doses journalières estimées (DJE) pour les Canadiens ont été calculées à partir des concentrations de SPFO se trouvant dans les milieux environnementaux (pour lesquels il n'y avait aucun signe de contamination) et à partir de la DJE de la nourriture. Les DJE moyennes totales pour le SPFO étaient estimées à 1,7 ng/kg PC/jour pour les nourrissons non allaités, à 3,8 ng/kg PC/jour pour les tout-petits, à 2,8 ng/kg PC/jour pour les enfants et à 2,3 ng/kg PC/jour pour les adultes.

Comme le SPFO est absorbé rapidement dans le tube digestif, un facteur d'absorption relative de 100 % a été appliqué par défaut pour l'ingestion et l'inhalation. En raison du manque de données sur l'absorption cutanée du SPFO, un facteur d'absorption de 10 % a été appliqué; celui-ci ayant été déterminé à partir des données disponibles sur l'APFO (un composé perfluoré qui présente des propriétés physicochimiques semblables à celles du SPFO).

Dans le cadre de l'élaboration des recommandations pour la qualité des sols, les tout-petits ont été considérés comme les récepteurs les plus sensibles dans les lieux agricoles, résidentiels et commerciaux, puisque cette catégorie d'âge (de sept mois à quatre ans) présente le plus grand ratio exposition par contact direct avec le sol par rapport au poids corporel. Dans les lieux industriels, les adultes ont été considérés comme les récepteurs les plus sensibles. Comme il est possible que les sols des terrains commerciaux et industriels migrent hors-site jusqu'à des terrains dont la vocation est plus sensible, des RQS pour les concentrations de SPFO aux fins de la vérification portant sur la migration hors-site des terrains commerciaux ou industriels ont aussi été calculées. Dans le cas du SPFO, la sorption est le seul mécanisme d'atténuation propre aux produits chimiques dans les sols et les eaux souterraines, puisque le SPFO ne se volatilise pas et n'est pas biodégradable (EC, 2013; OCDE, 2002). Les autres mécanismes d'atténuation sont uniquement fondés sur les conditions hydrologiques et hydrogéologiques. Sur cette base, le K_{co} est un paramètre clé pour calculer une RQS pour l'eau potable (RQ_{SEP}) concernant le SPFO.

Franz Environmental Inc. (2014) a identifié un K_{co} moyen pour le SPFO, pour un pH entre 5 et 7, de 1 445 L/kg, qui a été utilisé pour calculer la RQ_{SEP} de 0,013 mg/kg et de 0,009 mg/kg pour les sols à texture fine et grossière, respectivement. En raison de la grande variabilité du K_{co} (Franz Environmental Inc., 2014), le niveau de protection offert par cette RQ_{SEP} peut ne pas être approprié pour tous les sites. Pour protéger la santé humaine, la concentration admissible dans l'eau potable est la Recommandation pour la qualité des eaux souterraines visant la protection de l'eau potable ($RQ_{SEP} = 0,0006$ mg/L ou 0,6 µg/L; tableau 2). Les RQ_{SEP} sont adoptées directement à partir des Recommandations canadiennes pour la qualité de l'eau potable, élaborées par Santé Canada (CCME, 2015). Par conséquent, la RQ_{SEP} est équivalente à la concentration maximale acceptable (CMA) de 0,0006 mg/L (0,6 µg/L) élaborée par Santé Canada (SC, 2018a). Le CCME (2015) recommande que cette valeur soit directement adoptée pour les eaux souterraines qui peuvent être utilisées comme source d'eau potable (voir les lignes directrices d'additivité ci-dessous). Lorsque les eaux souterraines sont utilisées à d'autres fins (p. ex. l'irrigation des produits), l'évaluation doit être spécifique au site.

Il est possible d'être exposé au SPFO par les produits agricoles, la viande et les produits laitiers. Il existe peu d'informations disponibles sur les facteurs de transfert pour les poissons, les crustacés, les coquillages et les mammifères du fait de la variabilité et de l'incertitude inhérentes aux données qui sont attribuables à plusieurs facteurs différents. Sur la base d'une revue de la littérature, les

informations disponibles ne permettent pas le calcul de facteurs de transfert génériques pour les aliments d'origine animale à utiliser dans le calcul des RQS pour protéger la santé humaine (Intrinsik, 2018). Cette revue a répertorié très peu de données relatives aux aliments d'origine végétale, mais les données sur la concentration des aliments suggèrent que les fruits, les légumes et les céréales contribuent moins à l'exposition humaine que les aliments riches en protéines (Intrinsik, 2018). Si la consommation de produits agricoles, de viande et de lait devait être pertinente à un site, les conditions et les paramètres propres au site devront être envisagés pour élaborer une recommandation propre à un lieu, tel que cela est indiqué dans CCME (2006). Il est suggéré que tous les facteurs de transfert sélectionnés soient spécifiques au site et aux tissus pertinents pour la consommation (p. ex. racines, pousses, feuilles, fruits, abats, muscle, peau, etc.). Il convient également de tenir compte des différences potentielles entre les concentrations d'exposition, les espèces végétales et les ajustements pour le carbone organique des sols et d'autres propriétés des sols, telles que le pH et le potentiel d'oxydo-réduction. Lorsque les eaux souterraines sont utilisées à d'autres fins (p. ex. l'irrigation des produits), l'évaluation doit être spécifique au site. Le mécanisme de contrôle de la consommation des produits agricoles, de la viande et du lait n'a pas été calculé, en raison d'un manque d'informations.

Le SPFO est une substance faisant partie d'une gamme de SPFA. Les effets du SPFO et de l'APFO sur la santé humaine sont semblables et bien documentés. Selon les données scientifiques (disponibles jusqu'en 2016), le SPFO et l'APFO touchent le foie de façon similaire. Il faut donc tenir compte de l'effet cumulatif de l'APFO et du SPFO aux lieux contaminés (SC, 2019a, 2019b). Ainsi, lorsque le SPFO et l'APFO sont tous deux présents dans le sol ou les eaux souterraines, pour protéger la santé humaine, le CCME recommande que les deux produits chimiques soient pris en compte ensemble. Pour ce faire, on doit additionner le ratio concentration mesurée-recommandation appropriée ($RQS_{SH-SPFO}$ ou $RQES_{EP-SPFO}$) du SPFO et le ratio concentration mesurée-recommandation appropriée de l'APFO¹. Si le résultat est égal ou inférieur à un ($\leq 1,0$), le sol ou les eaux souterraines sont considérés comme acceptables pour leur utilisation attendue. Les données scientifiques actuelles ne justifient pas l'utilisation de cette approche avec les autres SPFA.

Approche d'additivité recommandée :

$$\frac{[SPFO]}{RQS_{SH-SPFO} \text{ ou } RQES_{EP-SPFO}} + \frac{[APFO]}{RQS_{SH-APFO} \text{ ou } RQES_{EP-APFO}} \leq 1$$

où :

- [SPFO] et [APFO] sont les concentrations mesurées dans le sol ou dans les eaux souterraines;
- la $RQS_{SH-SPFO}$ et la $RQS_{SH-APFO}$ sont les recommandations pour la qualité des sols visant la protection de la santé humaine pour le SPFO et l'APFO, respectivement; et

¹ Au moment de la publication, la RQS_{SH} et la $RQES_{EP}$ n'avaient pas été déterminées pour l'APFO. Consulter l'instance locale pour déterminer si d'autres valeurs de référence peuvent être utilisées dans l'équation d'additivité, par exemple la CMA pour l'APFO (SC, 2018b) ou la valeur d'examen préalable du sol pour l'APFO (SC, 2019a, 2019b).

- la RQSE_{EP-SPFO} et la RQSE_{EP-APFO} sont les recommandations pour la qualité des eaux souterraines concernant le SPFO et l'APFO visant la protection de la santé humaine, respectivement.

Tableau 3. Recommandations pour la qualité des sols et valeurs de vérification pour le SPFO (mg/kg PS)

	Vocation du terrain			
	Agricole	Résidentielle/ Parc	Commerciale	Industrielle
Recommandation	0,01	0,01	0,01	0,01
Recommandations ou valeurs de vérification visant la protection de la santé humaine				
RQS _{SH} ^c	0,01	0,01	0,01	0,01
Recommandation pour la qualité des sols relative au contact direct (santé humaine) RQS _{CD} ^d	2	2	3	40
Recommandation portant sur l'inhalation d'air intérieur RQS _{AI} ^e	NC	NC	NC	NC
Recommandation pour la qualité des sols visant la protection des eaux souterraines potables RQS _{EP} ^f	0,01	0,01	0,01	0,01
Vérification portant sur les produits agricoles, la viande et le lait RQS _{IA}	NC	NC	–	–
Vérification portant sur la migration hors-site RQS _{MH-SH}	–	–	0,1	0,1
Recommandations ou valeurs de vérification visant la protection de l'environnement				
RQS _E ^h	0,01	0,01	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)
Recommandation relative au contact avec le sol RQS _{CS}	10	10	60	60
Recommandation relative à l'ingestion de sol et de nourriture RQS _I	0,01	0,01	–	–
Vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie RQS _{CNE}	NC	NC	NC	NC
Vérification portant sur la migration hors-site RQS _{MH-E}	–	–	1	1
Recommandation pour la qualité des sols visant la protection des eaux souterraines : eau d'abreuvement du bétail RQS _{EA} et eau d'irrigation RQS _{IR}	7 (texture grossière) 5 (texture fine)	–	–	–
Recommandation pour la qualité des sols visant la protection des eaux souterraines : vie aquatique d'eau douce RQS _{VAD} ⁱ	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)	0,2 (texture grossière ^a) 0,1 (texture fine ^b)

NC = non calculée; ND = non déterminée; RQS_E = RQS visant la protection de l'environnement; RQS_{SH} = RQS visant la protection de la santé humaine. Le tiret représente une recommandation ou une valeur de vérification ne faisant pas partie du scénario d'exposition pour cette vocation de terrain et qui, par conséquent, n'a pas été calculée.

^a Un sol est considéré comme sol à grains grossiers lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen supérieur à 75 µm ($D_{50} > 75 \mu\text{m}$).

^b Un sol est considéré comme sol à grains fins lorsque plus de 50 % des particules (selon la masse) ont un diamètre moyen inférieur à 75 µm ($D_{50} < 75 \mu\text{m}$).

^c La RQS_{SH} est la plus faible des recommandations et des valeurs de vérification visant la protection de la santé humaine.

^d La RQS_{CD} a trait aux effets sur la santé humaine suite à l'exposition directe par ingestion de sol, contact cutané ou inhalation de particules.

^e La recommandation portant sur l'inhalation d'air intérieur s'applique aux composés organiques volatils. Le SPFO est essentiellement non volatil.

^f Pour des pH entre 5 et 7. Basé sur un K_{co} de 1 445 L/kg; le K_{co} du SPFO est très variable (229 à 6 310 L/kg; Franz Environmental Inc., 2014), aussi le niveau de protection que procure cette RQS_{EP} peut ne pas être approprié pour tous les sites. Lorsque les eaux souterraines sont utilisées comme source d'eau potable, les concentrations des eaux souterraines doivent être comparées directement à la valeur de la RQS_{EP}. Lorsque les eaux souterraines sont utilisées à d'autres fins (p. ex. l'irrigation des produits), l'évaluation doit être spécifique au site.

^g La RQS_E est la plus faible des recommandations ou des valeurs de vérification pour la protection de l'environnement.

^h La RQS_{VAD} est la concentration *dans le sol* qui devrait protéger les systèmes aquatiques contre les répercussions pouvant être causées par le transport potentiel du SPFO provenant du sol dans les eaux souterraines, et son rejet subséquent dans un plan d'eau de surface. Cette voie peut être applicable à tous les terrains, toutes vocations confondues, sur lesquels se trouve un plan d'eau de surface ayant une vie aquatique (p. ex., dans un rayon de 10 km du lieu). On notera que chaque gouvernement peut établir une exigence de distance spécifique pour l'inclusion de cette voie. Si les plans d'eau de surface sont situés à moins de 10 mètres des sols assainis, cette recommandation générique peut ne pas être appropriée et une évaluation spécifique au site peut être nécessaire au cas par cas, car le modèle de transport en zone saturée n'est pas considéré comme approprié pour une utilisation à des distances inférieures à 10 mètres.

Références

- 3M (2003). « Environmental and Health Assessment of Perfluorooctane Sulfonic Acid and Its Salts. » Préparé par 3M en consultation avec J. Moore, J. Rodricks, D. Turnball et W. Warren-Hicks. Accessible à https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/6305513 [consulté le 3 mai 2021].
- Ahrens, L. (2011). « Polyfluoroalkyl compounds in the aquatic environment: A review of their occurrence and fate ». *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 13, no 1, p 20–31.
- Armitage, J., I.T. Cousins, R.C. Buck, K. Prevedouros, M.H. Russell, M. MacLeod et S.H. Korzeniowski (2006). « Modeling global-scale fate and transport of perfluorooctanoate emitted from direct sources ». *Environmental Science & Technology*, vol. 40, p. 6969–6975.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2015. Draft Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, Georgia.
- Barber, J.L., U. Berger, C. Chaemfa, S. Huber, A. Jahnke, C. Temme et Jones K.C. (2007). « Analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in air samples from northwest Europe. » *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 9, no 6, p. 530–541.
- Beach, S.A., J.L. Newsted, K. Coady et Giesy J.P. (2006). « Ecotoxicological evaluation of perfluorooctanesulfonate (PFOS) ». *Examens de Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 186, p. 133–174.
- Brignole, A.J., J.R. Porch, H.O. Kreuger et R.L. Van Hoven (2003). « PFOS: A Toxicity Test to Determine the Effects of the Test Substance on Seedling Emergence of Seven Species of Plants. » *Toxicity to Terrestrial Plants*. US EPA Docket AR 226-1369. Wildlife International Ltd., Easton, Maryland.
- Butenhoff, J.L., Chang, S.C., Olsen, G.W., et Thomford, P.J. (2012). « Chronic dietary toxicity and carcinogenicity study with potassium perfluorooctanesulfonate in Sprague Dawley rats. » *Toxicology* vol. 293, nos 1–3, p. 1–15.
- Butt, C.M., U. Berger, R. Bossi et Tomy, G.T. (2010). « Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the Arctic environment ». *The Science of the Total Environment*, vol. 408, no 15, p. 2936–2965.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'Environnement) (1996). Document d'orientation sur l'établissement d'objectifs particuliers à un terrain en vue d'améliorer la qualité du sol des lieux contaminés au Canada. Programme national d'assainissement des lieux contaminés, Winnipeg, Manitoba.

- CCME (2006). Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine. CCME, Winnipeg, Manitoba. Accessible à <https://www.ccme.ca> [consulté le 21 mars 2018].
- CCME (2015). Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des eaux souterraines pour utilisation sur les sites contaminés. CCME, Winnipeg, Manitoba. Accessible à <https://www.ccme.ca> [consulté le 21 mars 2018].
- CCME (2021). Document scientifique soutenant les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux souterraines et des sols visant la protection de l'environnement et de la santé humaine : Sulfonate de perfluorooctane (SPFO). CCME, Winnipeg, Manitoba.
- Covance Laboratories Inc. (2002). « Final report: 104-Week Dietary Chronic Toxicity and Carcinogenicity Study with Perfluorooctane Sulfonic Acid Potassium Salt (PFOS; T-6295) in Rats. » no 6329-183. Dans : OCDE 2002.
- EC (Environnement Canada) (2006a). *Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999* : « Rapport d'évaluation écologique préalable sur le sulfonate de perfluorooctane, ses sels et ses précurseurs qui contient le groupe caractéristique C8F17SO2, C8F17SO3, ou C8F17SO2N. » Environnement Canada, Division des évaluations écologiques, Gatineau. Accessible à https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/main/lcpe-cepa/documents/substances/spfo-pfos/rep_ecologique_spfo-fra.pdf [consulté le 21 mars 2018].
- EC (2006b). Document de soutien du Rapport d'évaluation écologique préalable sur le sulfonate de perfluorooctane. Préparé par la Division des évaluations écologiques, Environnement Canada, Gatineau.
- EC (2013). « Sulfonate de perfluorooctane dans l'environnement : Suivi et surveillance de l'environnement à l'appui du plan de gestion des produits chimiques. » Ottawa, Ontario. Accessible à http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/En14-96-2013-fra.pdf [consulté le 21 mars 2018].
- EC (2015). « Assessing the toxicity of perfluorooctane sulfonate to *Folsomia candida* and *Oppia nitens* in soil. » Rapport préparé par : Le laboratoire de toxicologie des sols, Section de l'évaluation biologique et normalisation, Division de l'écotoxicologie et de la santé de la faune, Environnement Canada. Pour la Division de la promotion de la conformité et des sites contaminés, Direction des activités de protection de l'environnement d'Environnement Canada et le Bureau national des recommandations et des normes, Direction générale des sciences et de la technologie. Environnement Canada, Ottawa.
- ECCC (Environnement et Changement climatique Canada) (2018). *Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999* : « Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement. Perfluorooctanesulfonates (PFOS). » Bureau national des recommandations et des normes, Environnement et Changement climatique Canada, Gatineau, Québec. Available from <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/pded/feqg-pfos/20180620-PFOS-FR1.pdf> [consulté le 30 mai 2019].
- EFSA (European Food Safety Authority) (2008). Scientific Opinion du Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. The EFSA Journal, vol. 653, p. 1–131.
- Ellis, D.A., J.W. Marin, A.O. De Silva, M.D. Hurley, M.P. Sulbaek Andersen et Wallington, T.J. (2004). « Degradation of fluorotelomer alcohols: A likely atmospheric source of perfluorinated carboxylic acids ». Environ. Sci. Technol. vol. 38, p. 3316–3321.
- Filipovic, M., Laudon, H., McLachlan, M.S., et Berger, U. (2015). « Mass balance of perfluorinated alkyl acids in a pristine boreal catchment. » Environ. Sci. Technol. vol. 49, p. 12127–12135 et informations supplémentaires.
- Franz Environmental Inc. (2014). « Modelling of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Fate and Transport in Groundwater. » Rapport définitif. Préparé pour Environnement Canada. Numéro de projet 2771–1301.
- Gallagher, S.P., R.L. Van Hoven, J.B. Beavers et M. Jaber (2003). « PFOS: A Reproduction Study with the Northern Bobwhite. » Numéro de projet 454–103. Wildlife International Ltd, Easton.
- Giesy, J.P. et Kannan K. (2002). « Peer reviewed: Perfluorochemical surfactants in the environment ». Environmental Science & Technology, vol. 36, no 7, p. 146A–152.
- Gouvernement du Canada. 2012. *Règlement sur certaines substances toxiques interdites*, 2012, DORS / 2012-285. Gazette du Canada, Partie II. 2012. Accessible à <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2012-285.pdf> [consulté le 28 avril 2021].
- Hekster, F.M., P. de Voogt, A.M.C.M. Pijnenburg et R.W.P.M. Laane (2002). « Perfluoroalkylated substances – Aquatic environmental assessment. » Rapport RIKZ/2002.043. Juillet 2002. National Institute for Coastal and Marine Management (RIKZ), Den Haag, Pays-Bas. 99 p.
- Intrinsic Corp. (2018). « Perfluoroalkyl Uptake in Foods: A Summary of Available Literature. » Rapport définitif. 31 janvier 2018. Préparé pour la Division des lieux contaminés, Santé Canada. Ottawa, Ontario. Disponible sur demande à hc.cs-sc.sc@canada.ca.

- ITRC (Interstate Technology Regulatory Council) (2018). « Environmental Fate and Transport for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. » ITRC, Washington, DC.
- Jia, C., C. You et G. Pan (2010). « Effect of temperature on the sorption and desorption of perfluorooctane sulfonate on humic acid ». *Journal of Environmental Sciences*, vol. 22, no 3, p. 355–361.
- Joung, K.-E., Jo, E., Kim, H.-M., Choi K., et Yoon, J. (2010). « Toxicological effects of PFOS and PFOA on earthworm, *Eisenia fetida*. » *Journal of Toxicology and Environmental Health*, vol. 25, no 3, p. 181–186.
- Kerstner-Wood C., Coward, L., et Gorman, G. (2003). « Protein binding of perfluorbutane sulfonate, perfluorhexanesulfonate, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate to plasma (human, rat, monkey), and various human derived plasma protein fractions. » Étude 9921.7. US EPA AR-226-1354. Southern Research Corporation, Birmingham.
- Luebker, D.J., Case, M.T., York, R.G., Moore, J.A., Hansen, K.J., et Butenhoff, J.L. (2005). « Two-generation reproduction and cross-foster studies of perfluorooctanesulfonate (PFOS) in rats. » *Toxicology*. vol. 215, nos 1, 2, p. 126–148.
- Martin, J.W., Smithwick, M.M., Braune, B.M., Hoekstra, P.F., Muir, D.C. et Mabury, S.A. (2004). « Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic ». *Environmental Science & Technology*, vol 38, no2, p. 373–380.
- Muller, C.E., A.O. De Silva, J. Small, M. Williamson, X. Wang, A. Morris, S. Katz, M. Gamberg et Muir, D.C.G. (2011). « Biomagnification of perfluorinated compounds in a remote terrestrial food chain: lichen-caribou-wolf. » *Environ. Sci. Technol.* vol. 45, p. 8665–8673.
- Newsted, J.L., K.K. Coady, S.A. Beach, J.L. Butenhoff, S. Gallagher et J.P. Giesy (2007). « Effects of perfluorooctane sulfonate on mallard and northern bobwhite quail exposed chronically via the diet ». *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 23, p 1–9.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) (2002). « Co-operation on existing chemicals hazard assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and its salts. » Dans Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology ENV/JM/RD (2002)17/FINAL. Accessible à : <https://www.oecd.org/env/ehs/risk-assessment/2382880.pdf> [consulté le 6 août 2015].
- SC (Santé Canada) (2006). « Rapport sur l'état des connaissances scientifiques sous-jacentes à une évaluation préalable des effets sur la santé : Le sulfonate de perfluorooctane, ses sels et ses précurseurs contenant la fraction C8F17SO2 ou C8F17SO3. » Ottawa, Ontario. Accessible à https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/contaminants/existsub/pfos-spfo/perfluorooctane_sulfonate-fra.pdf [consulté le 5 août 2015].
- SC (2018a). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — Le sulfonate de perfluorooctane (SPFO)*. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). Accessible à <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-perfluorooctane-sulfonate/PFOS%202018-1130%20FRA.pdf> [consulté le 15 juin 2021].
- SC (2018b). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — L'acide perfluorooctanoïque (APFO)*. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). Accessible à https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-technical-document-perfluorooctanoic-acid/document/PFOA_2018-1130-fra.pdf [consulté le 15 juin 2021].
- SC (2019a). *Mise à jour des valeurs d'examen préalable du sol pour les substances perfluoroalkyliques (SPFA)*. Mai 2019. Préparé par la Division des lieux contaminés de SC. Ottawa, Ontario. Disponible sur demande à cs-sc@hc-sc.gc.ca.
- SC (2019b). *Mise à jour des valeurs d'examen préalable du sol pour les substances perfluoroalkyliques (SPFA)*. Mai 2019. Préparé par la Division des lieux contaminés de SC. Ottawa, Ontario. Disponible sur demande à cs-sc@hc-sc.gc.ca.
- Strynar, M.J., A.B. Lindstrom, S.F. Nakayama, P.P. Egeghy, et Helfant, L.J. (2012). « Pilot scale application of a method for the analysis of perfluorinated compounds in surface soils. » *Chemosphere*, vol. 86, p. 252–257.
- Stubberud, H. (2006). « Ecotoxicological effects of PFOS, PFOA and 6:2 FTS on earthworms (*Eisenia fetida*) (TA-2212/2006). » Norwegian Pollution Control Authority (SFT), Oslo, Norvège.

- Weremiuk, A.M., S. Gerstmann et H. Frank (2006). « Quantitative determination of perfluorinated surfactants in water by LC-ESI-MS/MS ». *Journal of Separation Science*, vol. 29, no 14, p. 2251–2255.
- York, R. (1999). « PFOS Rat Two-Generation Reproduction Study. » US EPA Docket AR226-0569. US EPA, Washington, DC.
- Zhao, H., C. Chen, X. Zhang, J. Chen et Quan, X. (2011). « Phytotoxicity of PFOS and PFOA to *Brassica chinensis* in different Chinese soils ». *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 74, p. 1343–1347.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2021. Recommandations canadiennes pour la qualité du sol et des eaux souterraines visant la protection de l'environnement et de la santé humaine : sulfonate de perfluorooctane (SPFO). Dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg, Manitoba.

Pour les questions de nature scientifique, veuillez contacter :

Environment and Climate Change Canada
Place Vincent Massey
351 St-Joseph Blvd.
Gatineau, QC K1A 0H3
Phone: 800-668-6767 (in Canada only) or 819-997-2800 (National Capital Region)
E-mail: ec.rqe-ecg.ec@canada.ca

Also available in English.

© Conseil canadien des ministres de l'environnement 2021
Extrait de publication n° 1300; ISBN : 1-896997-36-8