



Webinaire 12 décembre
2023

PFAS dans l'eau potable

Sébastien Sauvé
Département de chimie
Faculté des arts et des sciences

Discussion avec:

**Marc-André Verner et
Nolwenn Noisel**
Département de santé
environnementale et santé au
travail
École de santé publique



Nolwenn Noisel,
professeure, École
de santé publique
UdeM



Sébastien Sauvé,
professeur, Faculté
des arts et des
sciences
UdeM



Marc-André Verner,
professeur, École de
santé publique
UdeM



PFAS

- Les substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA)
- *Per- and polyfluoroalkyl substances* (PFAS)
- Selon les sources, il y a de 5000 à >10 000 molécules de PFAS distinctes reconnues

- PFOS - Sulfonate de perfluorooctane
- PFOA - Acide perfluorooctanoïque

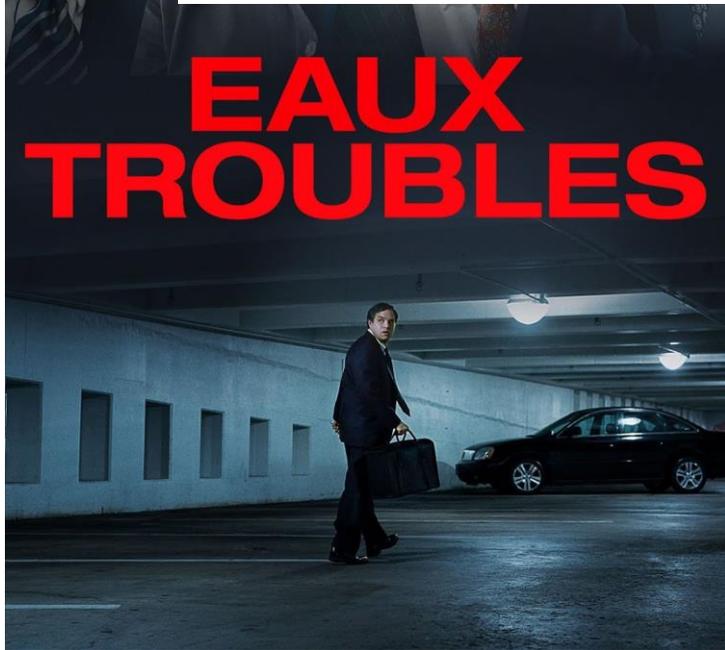
Enjeu

Les PFAS (*per- and polyfluoroalkyl substances* – substances alkylées per – ou polyfluorées) sont un excellent exemple de contaminant d'intérêt émergent

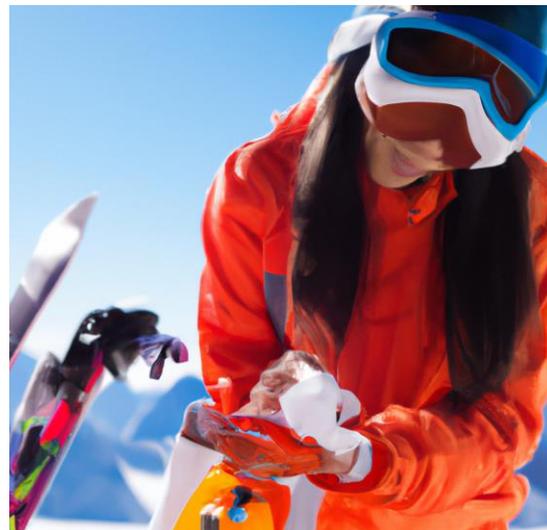
- On commence à avoir pas mal d'inquiétudes mais on n'a pas toutes les informations requises pour bien réglementer tous les aspects qui nous inquiètent.
- Surnom « *Forever Chemicals* » est trompeur et contribue à entretenir la phobie autour du problème, les PFAS se dégradent lentement mais ne sont pas les polluants organiques persistants les plus lents à se dégrader et certainement pas éternels – souvent ils se transforment en d'autres PFAS



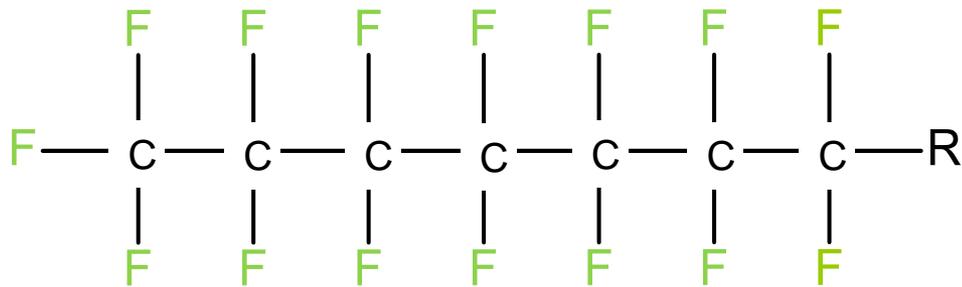
À déconseiller aux écoanxieux



D'où viennent les PFAS?



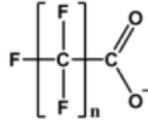
Structure d'un PFAS



- Très fluoré, le lien carbone – fluor est particulièrement stable
- Résistance thermique et chimique
- Repousse l'eau et les corps gras

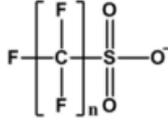
Liste des PFAS

PFCA

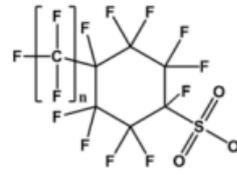


| | |
|-------------|--------------|
| PFPrA | n = 2 |
| PFBA | n = 3 |
| PFPeA | n = 4 |
| PFHxA | n = 5 |
| PFHpA | n = 6 |
| PFOA | n = 7 |
| PFNA | n = 8 |
| PFDA | n = 9 |
| PFUnA | n = 10 |

PFSA

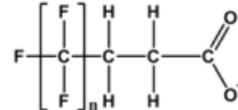


| | |
|-------------|--------------|
| PFPrS | n = 3 |
| PFBS | n = 4 |
| PFPeS | n = 5 |
| PFHxS | n = 6 |
| PFHpS | n = 7 |
| PFOS | n = 8 |
| PFNS | n = 9 |
| PFDS | n = 10 |



PFECHS n = 2

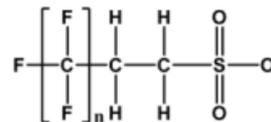
n:3 Acid



5:3 Acid n = 5

7:3 Acid n = 7

n:2 FtS



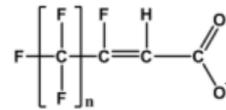
4:2 FtS n = 4

6:2 FtS n = 6

8:2 FtS n = 8

10:2 FtS n = 10

FTUCA

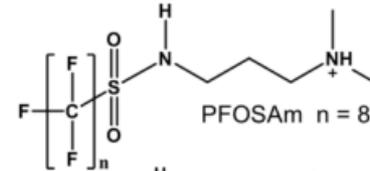


6:2 FTUCA n = 5

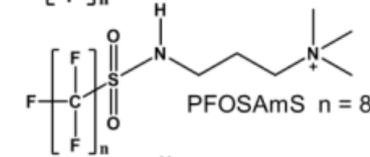
8:2 FTUCA n = 7

10:2 FTUCA n = 9

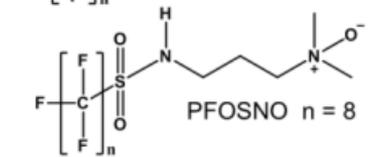
Cationic and zwitterionic



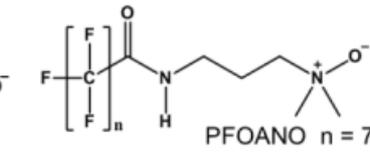
PFOSAm n = 8



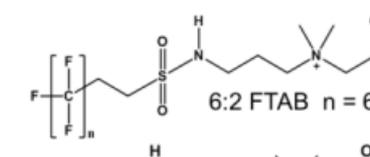
PFOSAmS n = 8



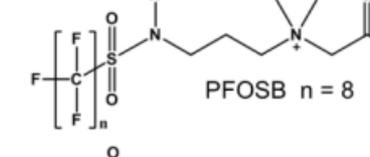
PFOSNO n = 8



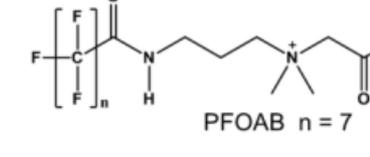
PFOANO n = 7



6:2 FTAB n = 6



PFOSB n = 8



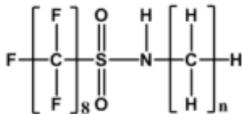
PFOAB n = 7

FASAs and N-alkylated FOSA



FHxSA n = 6

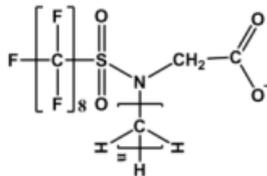
FOSA n = 8



MeFOSA (n = 1)

EtFOSA (n = 2)

Sulfonamido acetic acids

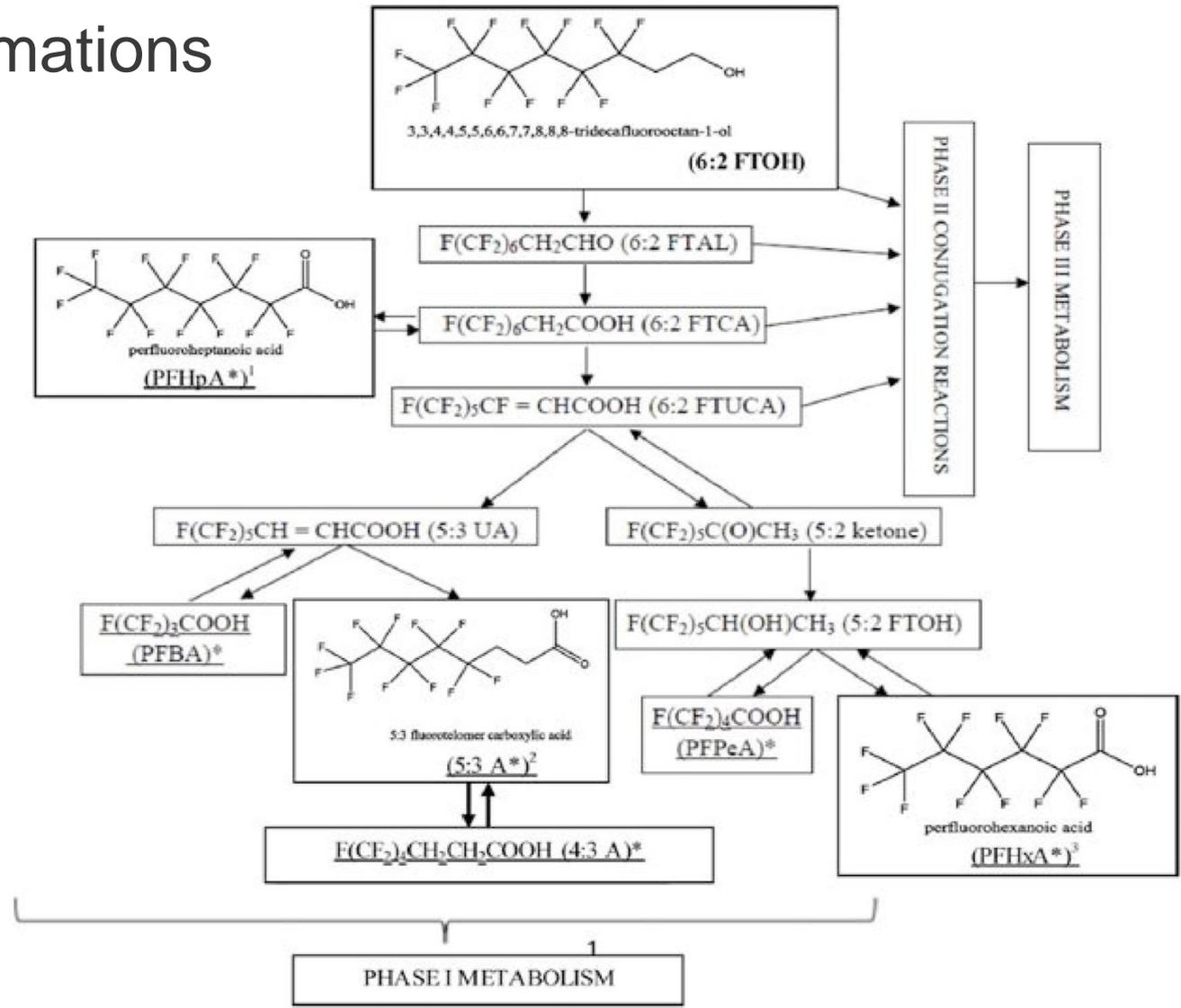


FOSAA (n = 0)

MeFOSAA (n = 1)

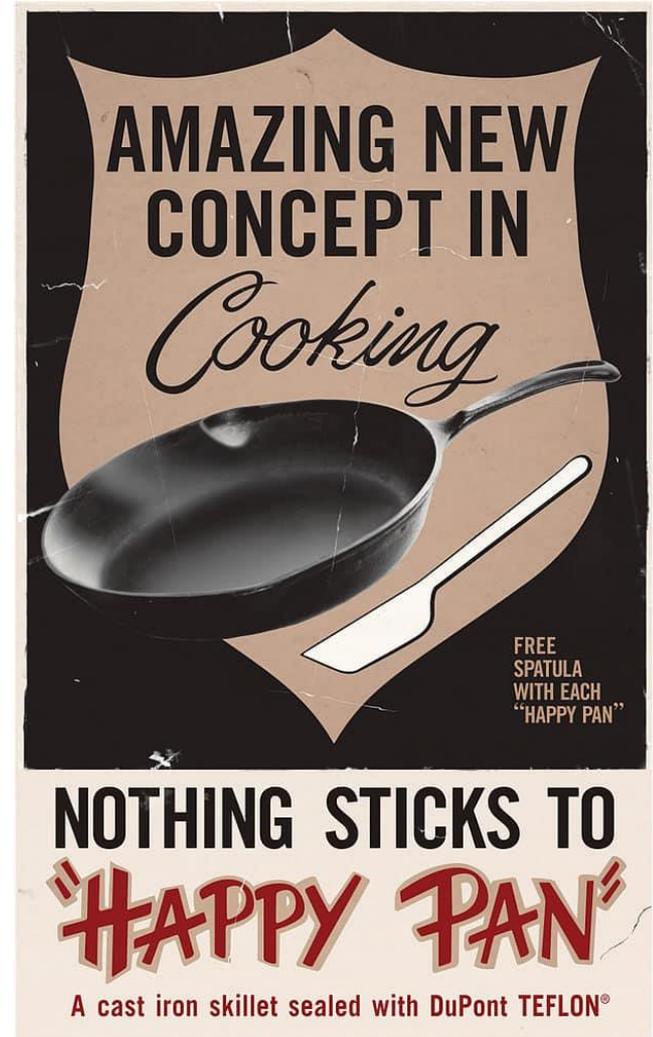
EtFOSAA (n = 2)

Transformations



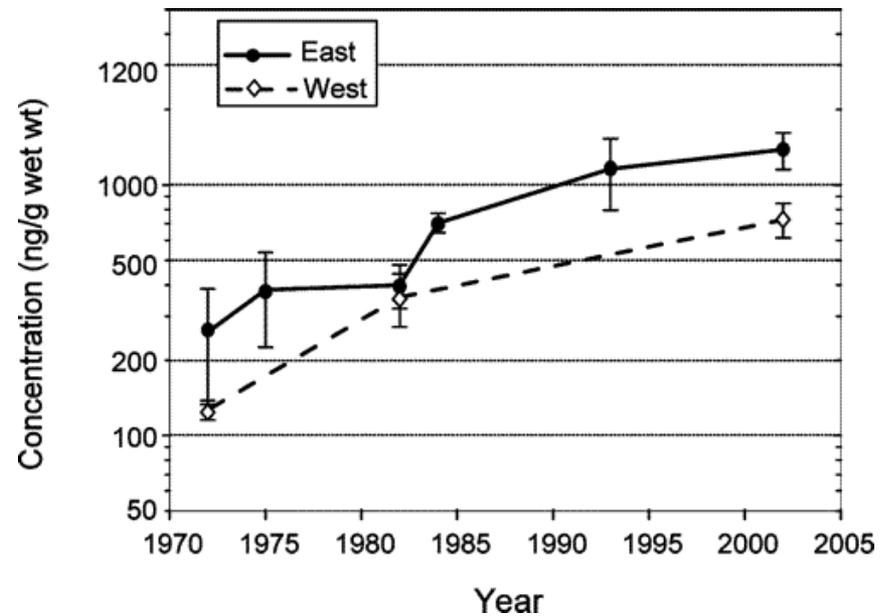
Historique

- 1938-1950 – Début de la synthèse et production de PTFE (Dupont) et PFOS (3M)
- Initialement reconnu comme peu toxique et sans danger



Données de bioaccumulation de PFOS dans des foies d'ours polaires

- Début des années 2000 – on démontre la présence des PFAS dans les animaux sauvages
- Données pour le confirmer dans le sang ou sérum humain ou même le lait maternel
- Σ PFAS de 10 à 50 ng/g dans les poissons affectés par Mégantic



Temporal Trends of Perfluoroalkyl Contaminants in Polar Bears (*Ursus maritimus*) from Two Locations in the North American Arctic, 1972–2002

Smithwick et al. Environmental Science & Technology 2006 40:1139-1143

Historique

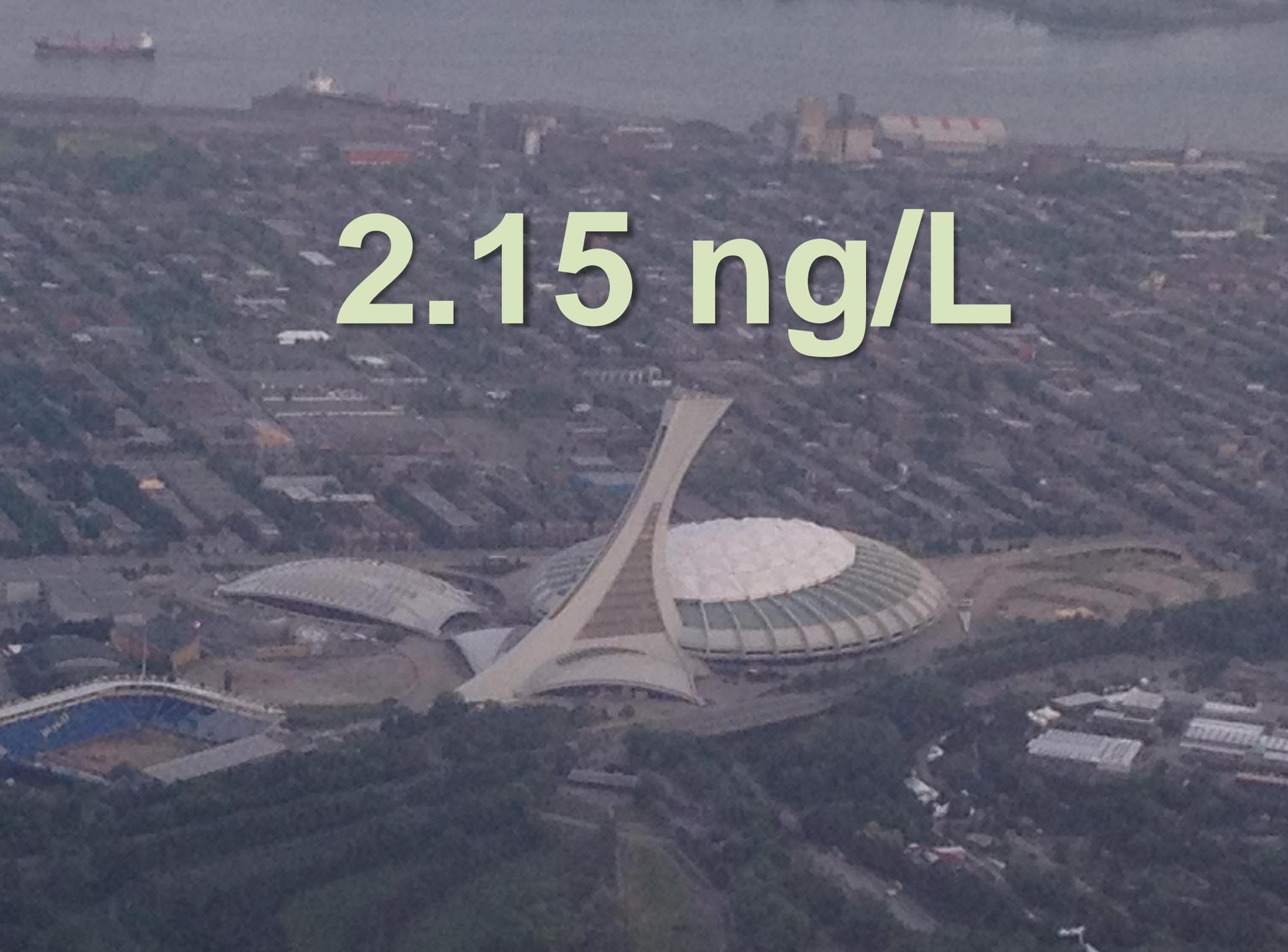
- En 2009, le PFOS a été banni comme polluant organique persistant (Stockholm Convention). PFOA et PFHxS ont suivi en 2019 and 2022.
- Mouvement récent pour élargir la restriction d'utilisation à l'ensemble des PFAS, en Europe, au Canada et aux USA
- Début de réglementation dans l'eau potable

Règlementation actuelle dans l'eau potable est désuète

- *West Virginia* a initialement réglementé à 150 000 ng PFOA/L
- USEPA a suivi avec un seuil de 400 ng PFOA/L en 2009, révisé à 70 ng PFOA/L ou PFOS/L en 2016
- Au Canada on est à 600 ng PFOS/L et 200 ng PFOA/L
- Union Européenne cible un seuil d'une somme de différents PFAS à ne pas dépasser de 100 ng/L – effectif en 2026.

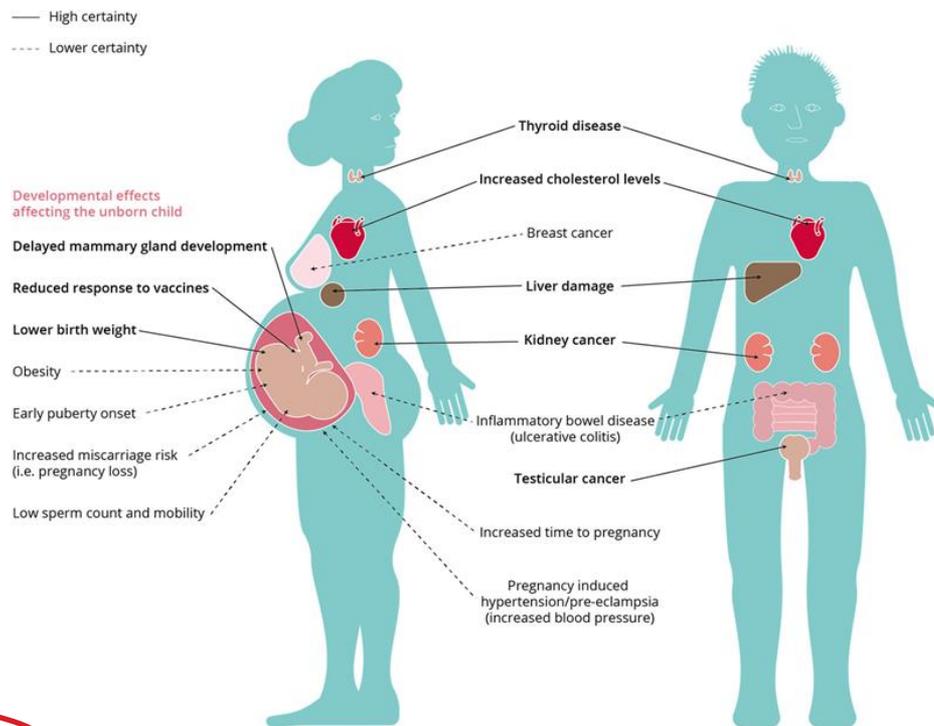


2.15 ng/L



Effets sur la santé

- Métabolisme des lipides
- Cancers
- Problèmes de thyroïde
- Poids réduit à la naissance
- Dommages au foie et aux reins
- Système immunitaire



Enviro Toxic and Chemistry, Volume: 40, Issue: 3, Pages: 606-630, First published: 05 October 2020, DOI: (10.1002/etc.4890)

Dans la majorité des cas, les risques restent inférieurs aux ceux auxquels s'exposent les fumeurs

Réponse vaccinale

- Doubler la concentration de PFAS dans le sang/sérum conduit à une réduction de ~25% de la réponse vaccinale
- Études répétées de multiples fois pour plusieurs vaccins différents, avec des enfants ou des adultes
- Peu de données de ce type pour la faune sauvage ou les animaux de ferme! On sait qu'il y a bioaccumulation mais ne connaît pas grand-chose sur les impacts sur le système immunitaire des animaux.
- La réponse vaccinale est une mesure du dérangement du système immunitaire – fort probablement pas le seul!

Summary of Four PFAS Health Advisories

Jun 2022

- **Interim Health Advisories:**
 - Perfluorooctanoic acid (PFOA)
 - Perfluorooctane sulfonate (PFOS)
- **Final Health Advisories:**
 - GenX chemicals (PFOA replacement)
 - Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS) (PFOS replacement)
- For PFOA and PFOS, some negative health effects may occur at concentrations that are near zero and below our ability to detect at this time.
- The lower the level of these chemicals in drinking water, the lower the risk to public health.

| Chemical | Health Advisory Value (ppt) | Minimum Reporting Level (ppt) |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| PFOA | 0.004 (Interim) | 4 |
| PFOS | 0.02 (Interim) | 4 |
| GenX Chemicals | 10 (Final) | 5 |
| PFBS | 2,000 (Final) | 3 |

<https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos>

Avis Seuils Santé USEPA: PFOA = 0,004 ng/L et PFOS = 0,02 ng/L

Février 2023



Health
Canada

Santé
Canada

Your health and
safety... our priority.

Votre santé et votre
sécurité... notre priorité.

Objectif pour la qualité de l'eau potable
au Canada

Substances perfluoroalkylées
et polyfluoroalkylées

« Il est recommandé que les stations de traitement s'efforcent de maintenir les concentrations de SPFA dans l'eau potable au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (*as low as reasonably achievable, ALARA*). »

<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/programmes/consultation-objectif-propose-qualite-eau-potable-canada-substances-perfluoroalkylees-polyfluoroalkylees/apercu.html>

Recommandation: Σ PFAS < 30 ng/L dans l'eau potable

 An official website of the United States government



MENU

Search EPA.gov

Mars 2023

Related Topics: [Safe Drinking Water Act](#)

[CONTACT US <https://epa.gov/sdwa/forms/contact-us-about-safe-drinking-water-act>](https://epa.gov/sdwa/forms/contact-us-about-safe-drinking-water-act)

<https://epa.gov/sdwa>

Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)

Proposed PFAS National Primary Drinking Water Regulation

On March 14, 2023, EPA announced the proposed National Primary Drinking Water Regulation (NPDWR) for six PFAS including perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), perfluorononanoic acid (PFNA), hexafluoropropylene oxide dimer acid (HFPO-DA, commonly known as GenX Chemicals), perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), and perfluorobutane sulfonic acid (PFBS). The proposed PFAS NPDWR does not require any actions until it is finalized. EPA anticipates finalizing the regulation by the end of 2023. EPA expects that if fully implemented, the rule will prevent thousands of deaths and reduce tens of thousands of serious PFAS-attributable illnesses.

<https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>

<https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>

Summary

EPA is proposing a National Primary Drinking Water Regulation to establish legally enforceable levels, called Maximum Contaminant Levels (MCLs), for six PFAS in drinking water. EPA is also proposing health-based, non-enforceable Maximum Contaminant Level Goals (MCLGs) for these six PFAS.

The proposed rule would also require public water systems to:

- Monitor for these PFAS
- Notify the public of the levels of these PFAS
- Reduce the levels of these PFAS in drinking water if they exceed the proposed standards.

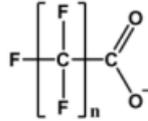
**Clair et sans
ambiguïté!**

| Compound | Proposed MCLG | Proposed MCL (enforceable levels) |
|--|--------------------------------|---|
| PFOA | Zero | 4.0 parts per trillion (also expressed as ng/L) |
| PFOS | Zero | 4.0 ppt |
| PFNA | 1.0 (unitless) Hazard Index | 1.0 (unitless) Hazard Index |
| PFHxS | | |
| PFBS | | |
| HFPO-DA (commonly referred to as GenX Chemicals) | | |

- **Recommandation : PFOA et PFOS doivent être chacun plus petits que 4 ng/L**
- **PFNA, PFHxS, PFBS et GenX sont dans un index relatif combiné (seuils de 9 (PFHxS), 10 (PFNA et GenX) et 2000 ng/L PFBS)**

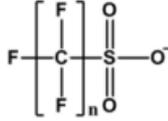
Liste des PFAS

PFCA

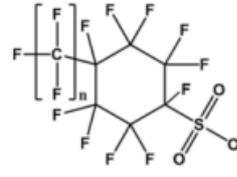


| | |
|-------------|--------------|
| PFPrA | n = 2 |
| PFBA | n = 3 |
| PFPeA | n = 4 |
| PFHxA | n = 5 |
| PFHpA | n = 6 |
| PFOA | n = 7 |
| PFNA | n = 8 |
| PFDA | n = 9 |
| PFUnA | n = 10 |

PFSA

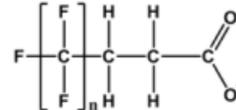


| | |
|--------------|--------------|
| PFPrS | n = 3 |
| PFBS | n = 4 |
| PFPeS | n = 5 |
| PFHxS | n = 6 |
| PFHpS | n = 7 |
| PFOS | n = 8 |
| PFNS | n = 9 |
| PFDS | n = 10 |



PFECHS n = 2

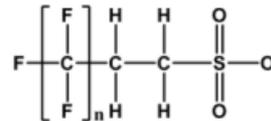
n:3 Acid



5:3 Acid n = 5

7:3 Acid n = 7

n:2 FtS



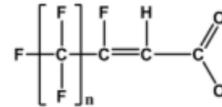
4:2 FtS n = 4

6:2 FtS n = 6

8:2 FtS n = 8

10:2 FtS n = 10

FTUCA

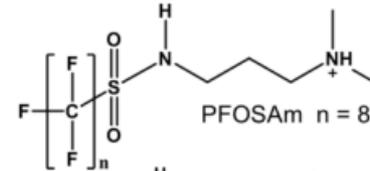


6:2 FTUCA n = 5

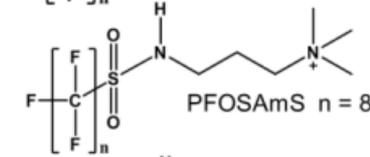
8:2 FTUCA n = 7

10:2 FTUCA n = 9

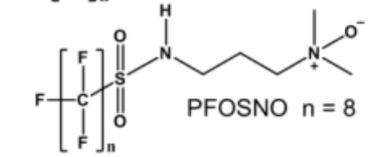
Cationic and zwitterionic



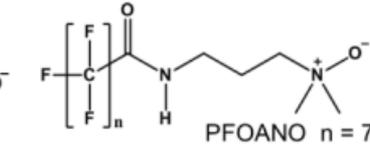
PFOSAm n = 8



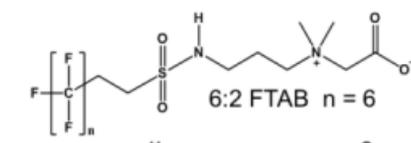
PFOSAmS n = 8



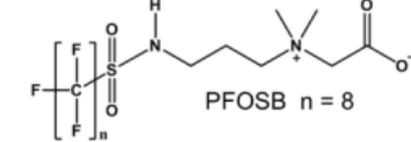
PFOSNO n = 8



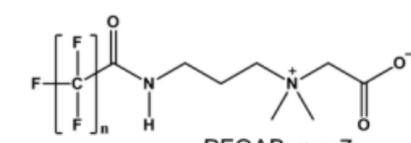
PFOANO n = 7



6:2 FTAB n = 6

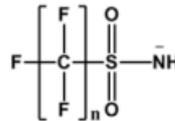


PFOSB n = 8



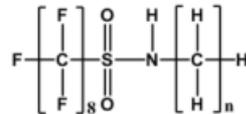
PFOAB n = 7

FASAs and N-alkylated FOSA



FHxSA n = 6

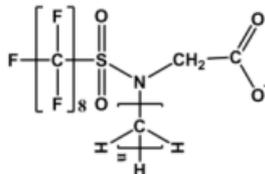
FOSA n = 8



MeFOSA (n = 1)

EtFOSA (n = 2)

Sulfonamido acetic acids



FOSAA (n = 0)

MeFOSAA (n = 1)

EtFOSAA (n = 2)

HPFO-DA

Union Européenne

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=FR>

- La somme des PFAS dans l'eau potable ne doit pas dépasser 100 ng/L
- Doit être mis en place par les pays membres pour le début 2026.
- Déjà des demandes pour un resserrement des règles en Europe
- Autres valeurs guides en place:
 - \sum PFOA + PFOS + PFNS + PFHxS :
 - < 2 ng/L au Danemark
 - <4 ng/L au Pays-Bas

Somme de 20 PFAS (Union Européenne)

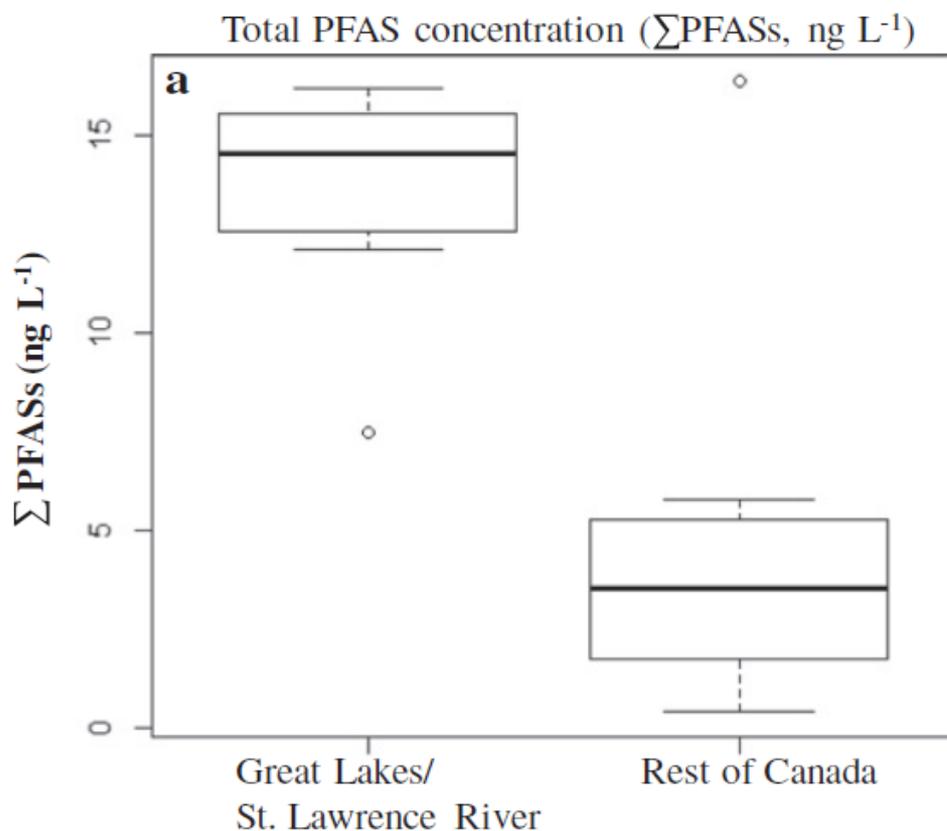
Annexe 3. Somme des PFAS Les substances qui suivent sont analysées sur la base des lignes directrices techniques élaborées en conformité avec l'article 13, paragraphe 7:

- Acide perfluorobutanoïque (PFBA)
- Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)
- Acide perfluorohexanoïque (PFHxA)
- Acide perfluoroheptanoïque (PFHpA)
- Acide perfluorooctanoïque (PFOA)
- Acide perfluorononanoïque (PFNA)
- Acide perfluorodécanoïque (PFDA)
- Acide perfluoroundécanoïque (PFUnDA)
- Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA)
- Acide perfluorotridécanoïque (PFTrDA)
- Acide perfluorobutanesulfonique (PFBS)
- Acide perfluoropentanesulfonique (PFPeS)
- Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS)
- Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS)
- Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS)
- Acide perfluorononane sulfonique (PFNS)
- Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS)
- Acide perfluoroundécane sulfonique
- Acide perfluorododécane sulfonique
- Acide perfluorotridécane sulfonique

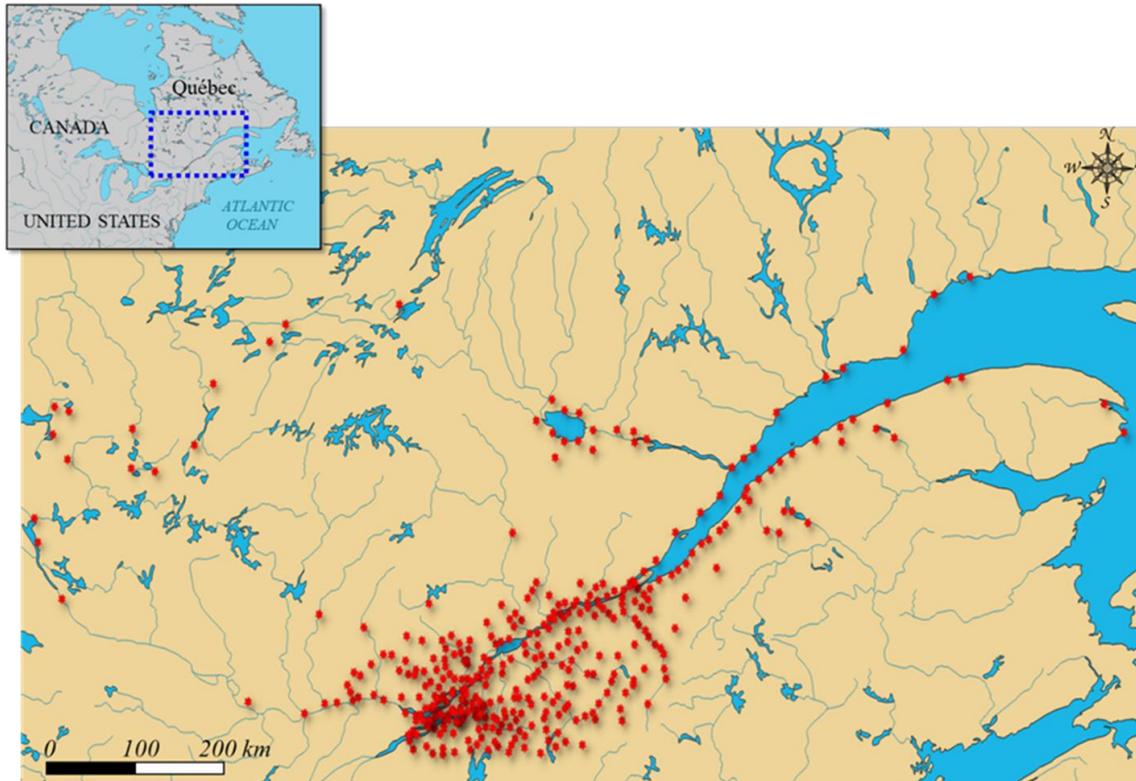
EU, Santé Canada et USEPA

- UE $\sum 20$ PFAS < 100 ng/L
- Santé Canada $\sum 30$ PFAS < 30 ng/L (proposition à approuver bientôt on présume)
- USEPA < 4 ng PFOA/L et < 4 ng PFOS/L et 4 autres PFAS dans un index
- Au Québec, l'INSPQ propose un logigramme d'exposition aux PFAS un peu abscond qui nuance les risques en se basant sur des valeurs toxicologiques de références dérivées principalement d'études sur des animaux et qui exige en bout de ligne l'opinion d'un expert pour interpréter sur les risques encourus.

Eau potable au Canada

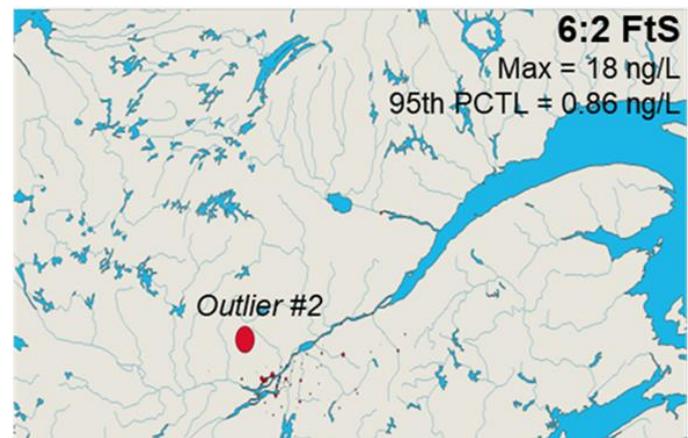
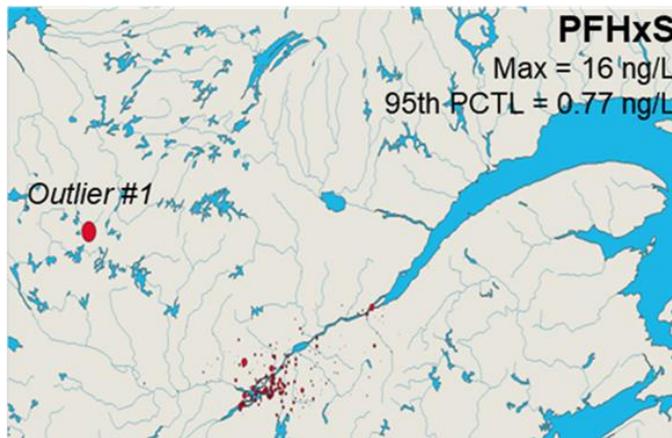
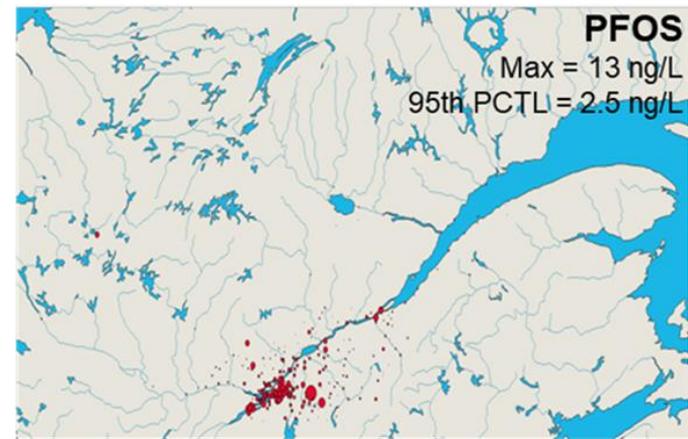
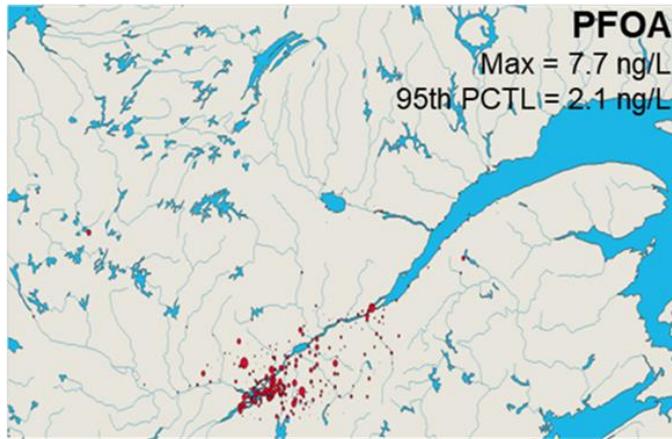


Carte des 376 sites échantillonnés (2018-2020)



Munoz et al. 2023. *Water Research*, 233: 119750.

PFAS dans l'eau potable au Québec



Dans la base de données du Québec

Sur un total de 463 échantillons provenant de 376 sites:

1+2 sites dépassent 100 ng/L (EU) (+ La Baie & Ste-Cécile)

7 sites > 30 ng/L (Canada)

8 sites > 4 ng PFOA/PFOS/L (USEPA)

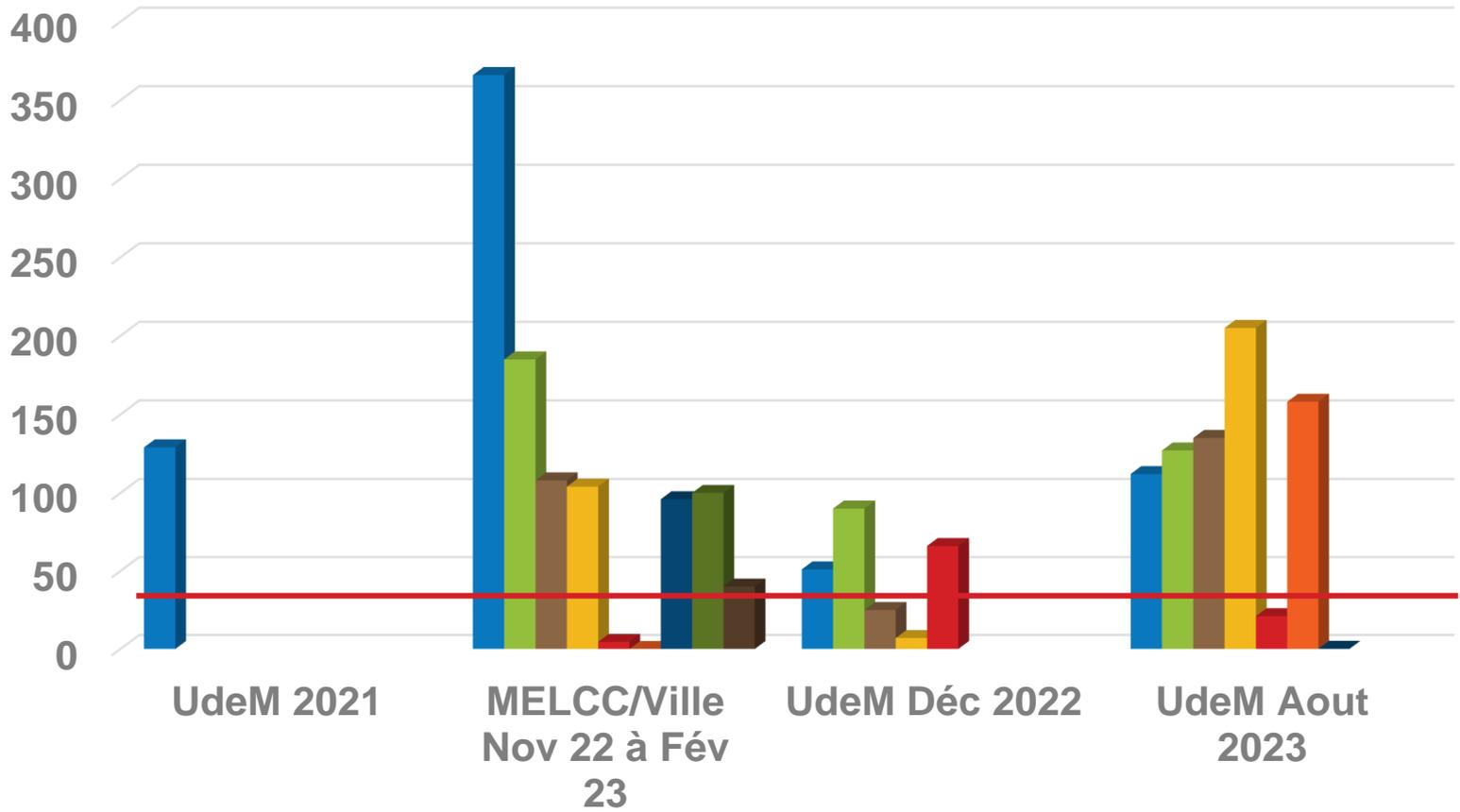
| | Summed PFAS * Concentration unit ng/L |
|---|---|
| TW2018_Val-d'Or | 107,7 |
| TW2019_Saint-Donat-de-Montcalm | 81,8 |
| TW2020_Saint-Donat-de-Montcalm_Location#1 | 70,2 |
| TW2020_Saint-Donat-de-Montcalm_Location#2 | 67,8 |
| TW2019_Val-d'Or | 54,8 |
| TW2019_L'Épiphanie | 44,2 |
| TW2019_Sainte-Cécile-de-Milton | 35,8 |
| TW2019_Sainte-Adèle | 34,3 |
| TW2018_Sainte-Adèle | 31,8 |
| TW2020_Val-d'Or | 30,0 |
| TW2019_Sainte-Pétronille | 21,0 |
| TW2018_Farnham | 20,5 |
| TW2019_Waterloo | 19,1 |
| TW2018_Saint-Hyacinthe | 16,3 |
| TW2019_Saint-Hyacinthe | 16,0 |
| TW2018_Longueuil | 15,9 |
| TW2020_Montréal-Est | 15,8 |
| TW2020_Montréal | 15,5 |
| TW2019_Lévis | 15,0 |

Munoz et al. 2023. Water Research, 233: 119750.

Origine des PFAS qui contaminent notre eau

- Sites d'enfouissement
 - Aéroports
 - Bases militaires
 - Exercices d'entraînement de pompiers
 - Incendies
-
- Principalement un enjeu d'eau souterraine (sauf que le fleuve est anormalement élevé en PFAS et le cas de l'Épiphanie)
-
- Les activités industrielles (production de PFAS!, papetières, métaux, textiles etc) peuvent aussi contaminer l'eau environnante

Bilan des Résultats Robinets de La Baie



Sur un total de 376+ sites au Québec

5+2 villes au Québec avec la \sum PFAS > 30 ng/L (le seuil proposé par Santé Canada)

7 sites au-dessus des seuils proposés par USEPA (et deux sites qui ne seraient pas identifiés avec la norme étatsunienne).

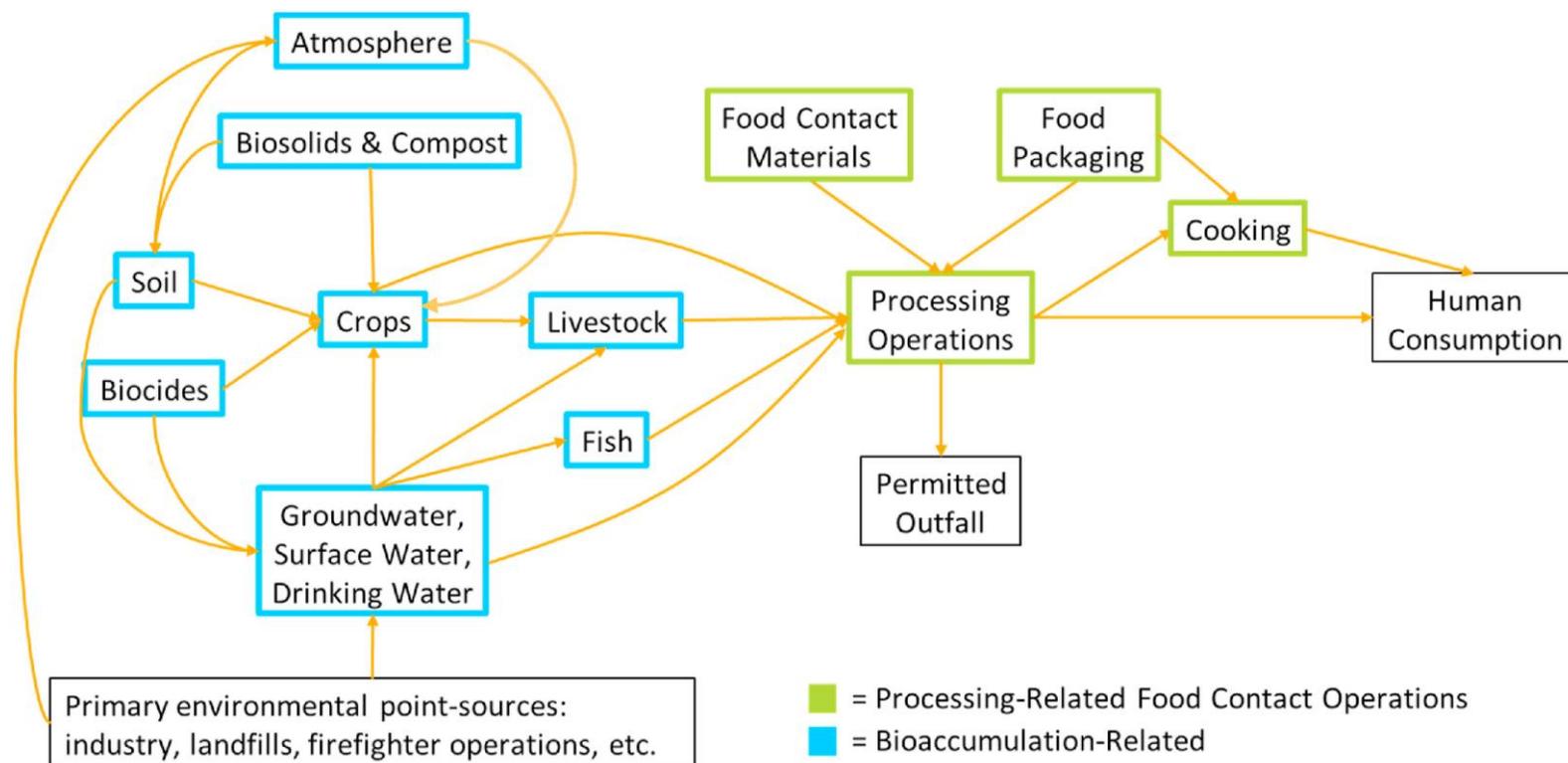
La proposition au Canada semble moins sévère – mais inclut plus de PFAS. La proposition de Santé Canada devrait être ajustée à \sum PFAS <15 ng/L pour avoir un résultat comparable à la proposition de l'USEPA.

Aucune norme ou suivi ne sont actuellement requis pour les PFAS dans l'eau potable au Québec. Nous n'avons même pas de données pour toutes les municipalités du Québec.

INSPQ reconnaît que « L'eau de La Baie représente un potentiel de surexposition aux PFAS » mais juge que « Les concentrations retrouvées représentent un risque négligeable d'effets néfastes à la santé ». Mais qu'il faut quand même investir des millions pour bonifier le traitement de l'eau potable.

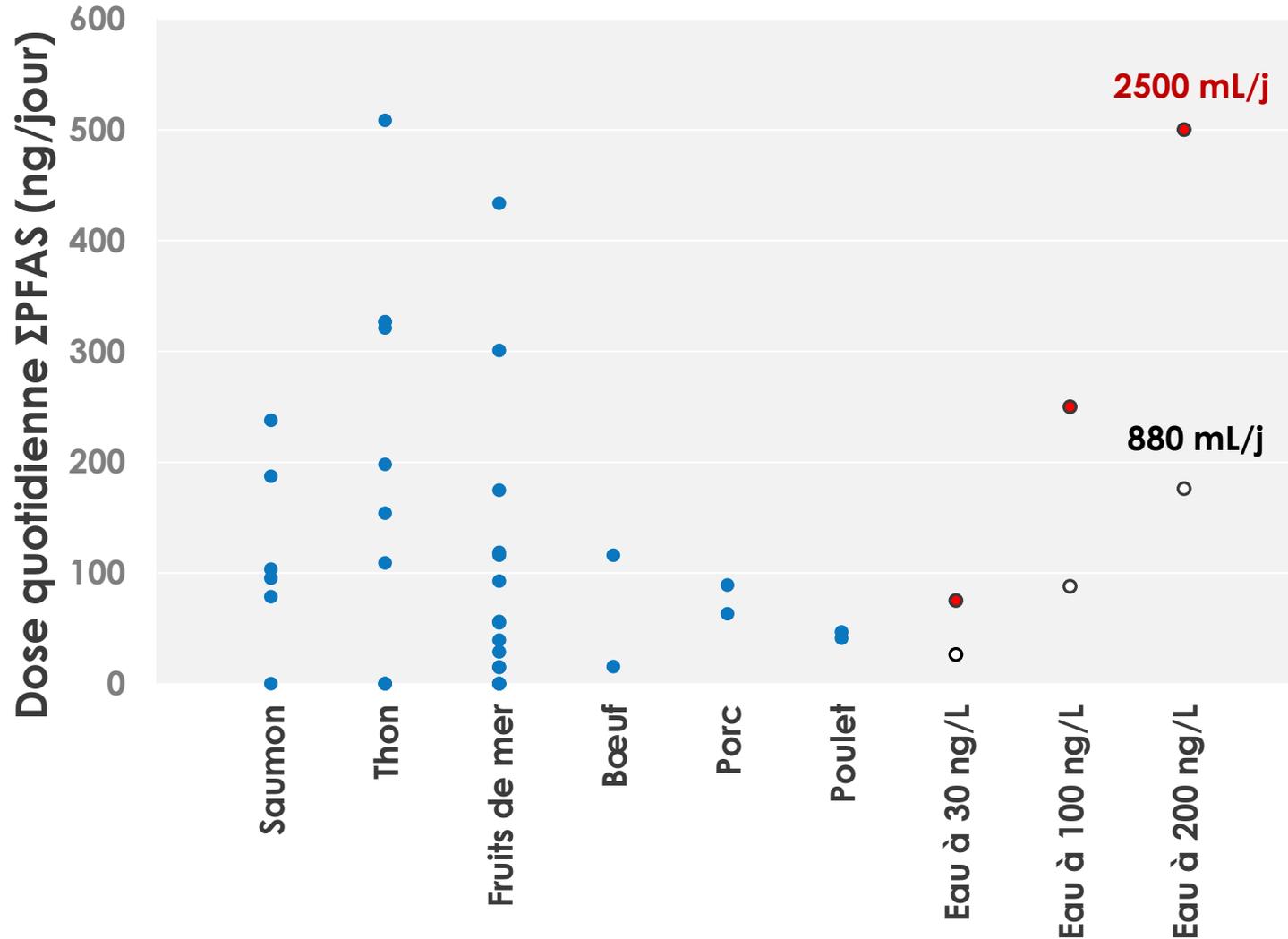
Recommandations de prudence émises par la santé publique à Ste-Cécile-de-Milton.

Exposition par la nourriture



Vorst et al. 2021. Risk assessment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in food: Symposium proceedings, Trends in Food Science & Technology, 116: Pages 1203-1211, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.038>.

Contribution quotidienne eau vs. nourriture



Données préliminaires d'analyses du labo de Sébastien Sauvé

PFAS - Défis de Communications

Problème complexe

Risques difficiles à bien décrire et cerner

Il faut relativiser les autres sources de PFAS (nourriture, poêles en Teflon, emballages, cosmétiques, Scotchguard, matériaux etc.)

Il faut réglementer les usages de PFAS qui en dispersent partout dans l'environnement et qui contaminent les biosolides

Il faut voir à préserver certains usages essentiels (batteries, médicaments, etc.)

Il faut des règles claires, avec un seuil, transmission des résultats et obligation de corriger lorsqu'il y a dépassement.

Merci!



sebastien.sauve@umontreal.ca

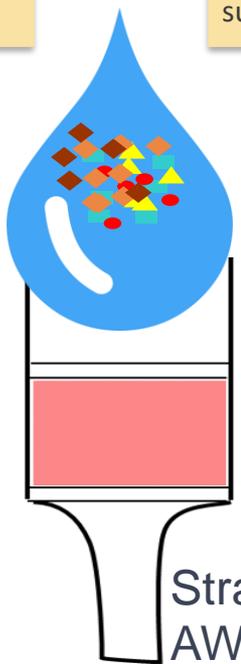
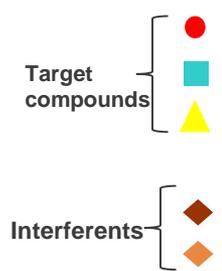
Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse de haute résolution



Solid-Phase extraction (SPE)

Generates high concentration factors by loading large volumes of drinking water into the SPE cartridge

Reduces the presence of interfering analytes that may cause ion suppression/enhancement



500 ml → 0.25 ml

```
graph TD; A[500ml tap water] --> B[Offline automated SPE]; B --> C[Load the sample]; C --> D[Drying with N2]; D --> E[Elution]; E --> F[Evaporation]; F --> G[Inject to LC-HRMS];
```

Spike surrogate IS
Adjusting pH

Conditioned with 2 × 4 mL of 0.2% NH4OH in methanol and 2 × 4 mL of HPLC-grade water



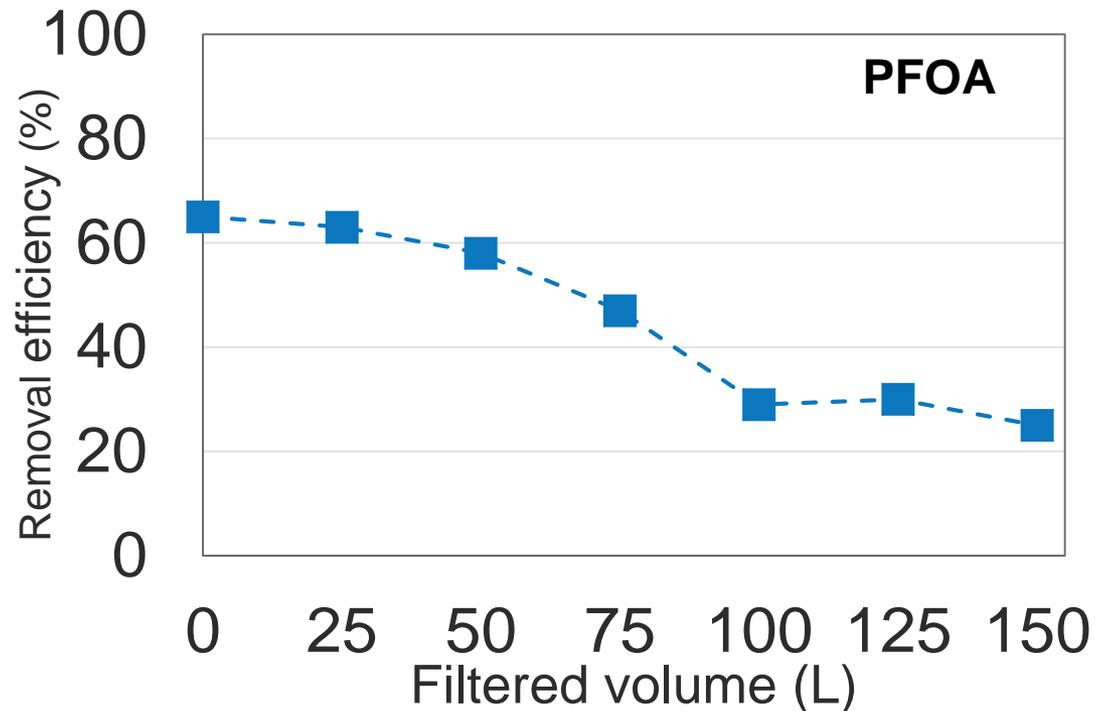
Comment on définit l'eau potable?

- “L'eau potable est sécuritaire à boire et ne représente pas de risques chimiques ou microbiologiques”
- Le risque zéro n'existe pas – il faut donc intégrer la notion de « *risques acceptables* ». Les notions de risques sont très bien intégrées aux processus de détermination de critères de qualité, la définition pourrait ainsi être ajustée:
- **« L'eau potable est une eau qui ne contient pas de contaminants microbiologiques ou chimiques au-delà des règles applicables. »**
- Complicé pour les contaminants émergents qui n'ont pas encore de règles applicables!

Est-ce qu'on peut éliminer les PFAS avec un pichet filtrant?

Oui, un petit peu...

L'efficacité diminue avec l'utilisation du filtre.



Anumol et al. *J. AWWA* 2015