

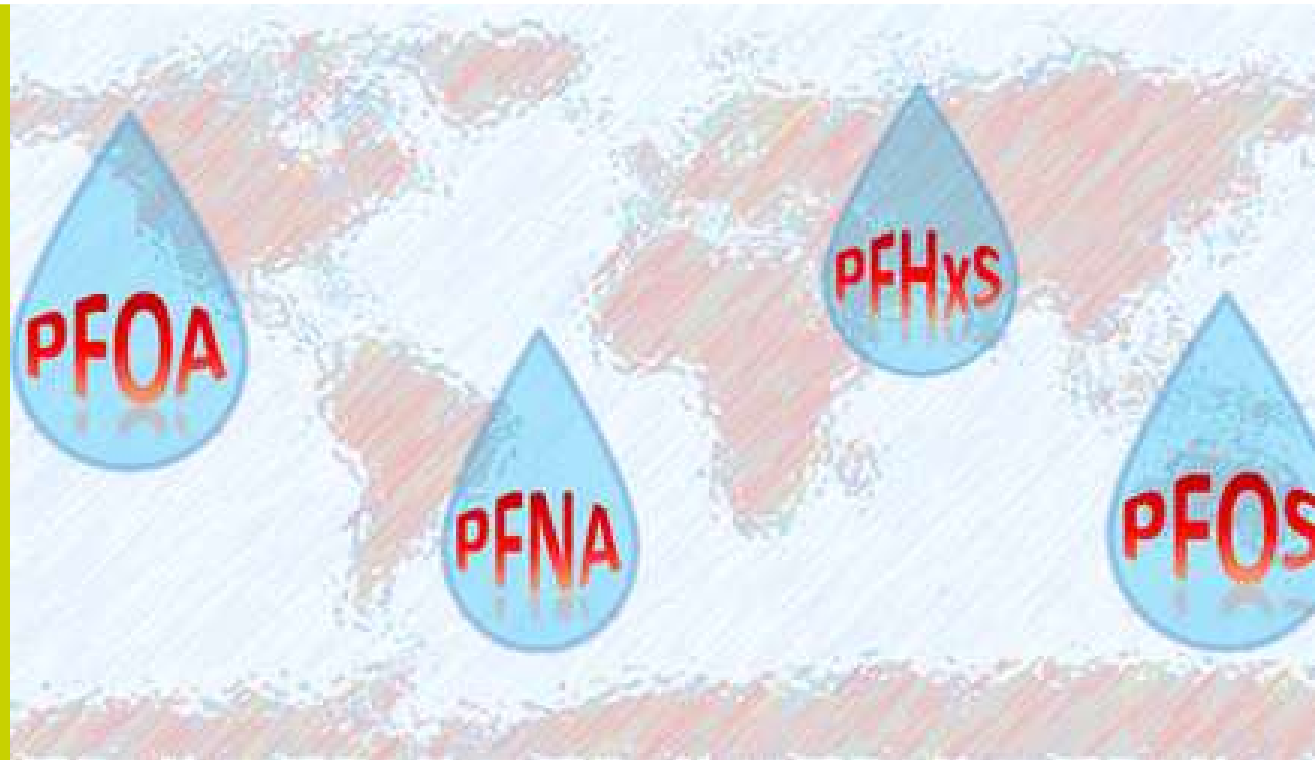
25 avril 2025 à 14h

Intervenants :

- Aurélia Michaud (INRAE, umr SAS)
- Sébastien Sauvé (Univ. Montréal, MSRC)

INRAE

Université 
de Montréal



Les composés poly- et perfluorés (PFAS) dans
l'eau

Des clés pour comprendre les enjeux

Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux

*Webinaire, CRESEB, 25/04/2025
A Michaud, INRAE, UMR SAS*



Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.

Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).

Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179

INRAE

Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux

Attention accrue depuis les années 2000
Des scientifiques (2000s-2010s)
En Europe (2010s-20s) (politiques, société, acteurs)

➤ **Articles scientifiques**

Rapports sortis récemment (ex. Académie des sciences
2025, INERIS 2025)

Réglementations



(Gikka et al. 2023)

Les PFAS ?

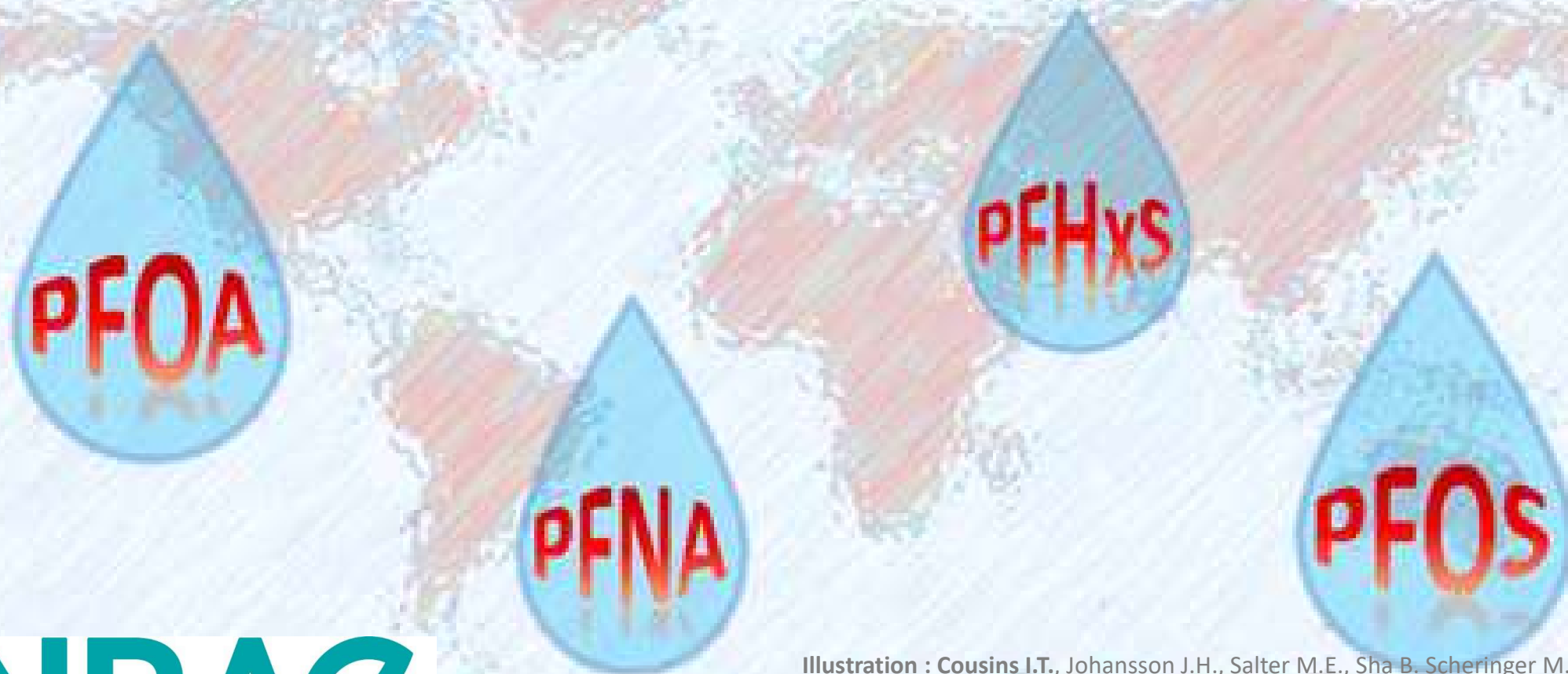


Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.
Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179



Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Les PFAS ?

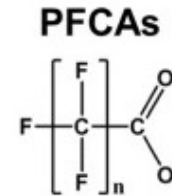
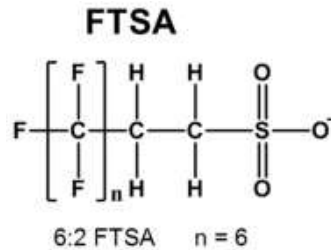
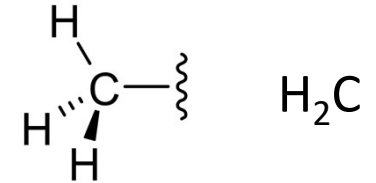
Substances fluorées

Contenant au moins un atome de carbone en groupement méthyl (CH_3) ou méthylène (CH_2) complètement fluoré

Poly = plusieurs groupements CH_3/CH_2 fluorés

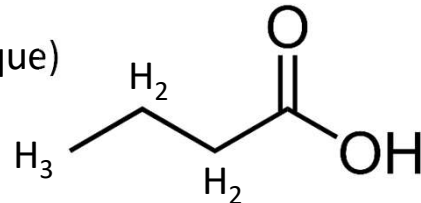
Per = tous groupements CH_3/CH_2 fluorés

(Evich et al. 2022)

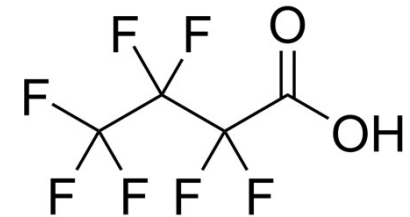


Liaison C-F très stable
chimiquement et thermiquement

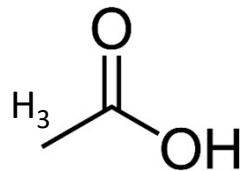
Acide butanoïque (= butyrique)
 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{-COOH}$



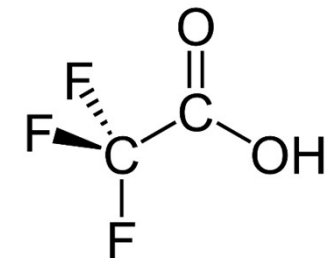
Acide perfluorobutanoïque
(PFBA)
 $\text{C}_4\text{HF}_7\text{O}_2$



Acide acétique
 $\text{CH}_3\text{-CO-OH}$

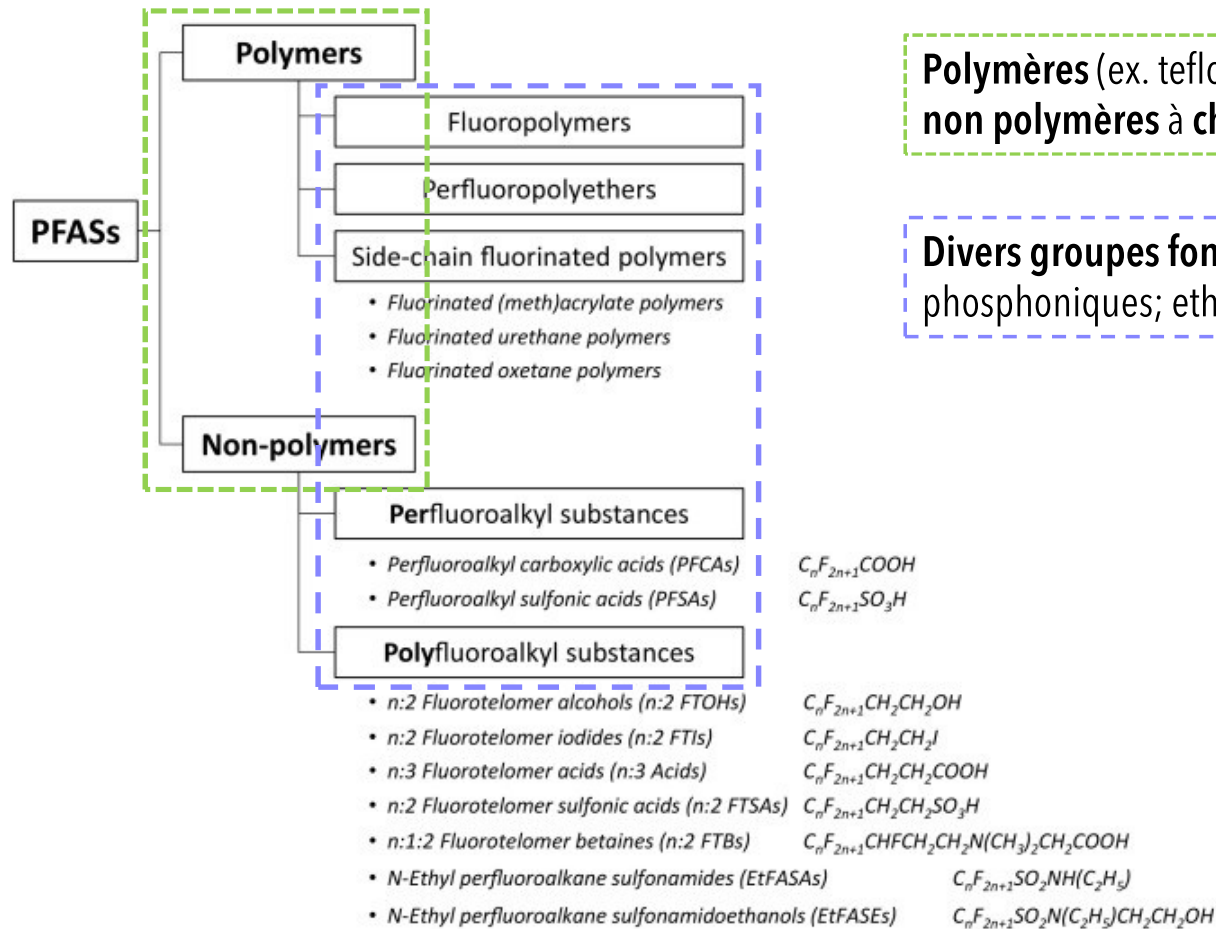


acide trifluoroacétique
(TFA)
 CF_3COOH



Les PFAS ?

Milliers de composés à structures variées



Polymères (ex. teflon = PTFE)

non polymères à **chaines carbonées** de taille variable (C2, C3, ... C9...)

Divers groupes fonctionnels (acides carboxyliques, sulfoniques, phosphoniques; éthers...)

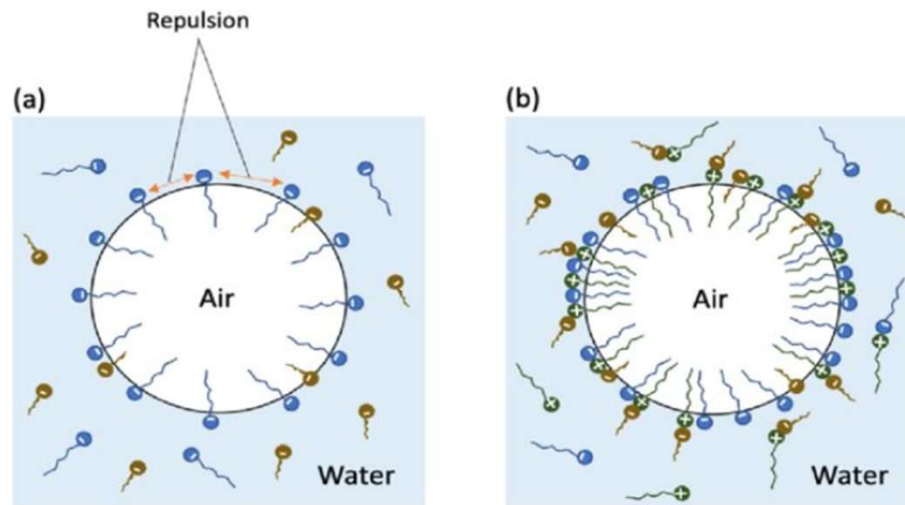
Les PFAS ?

Surfactants

Capacité à former des micelles

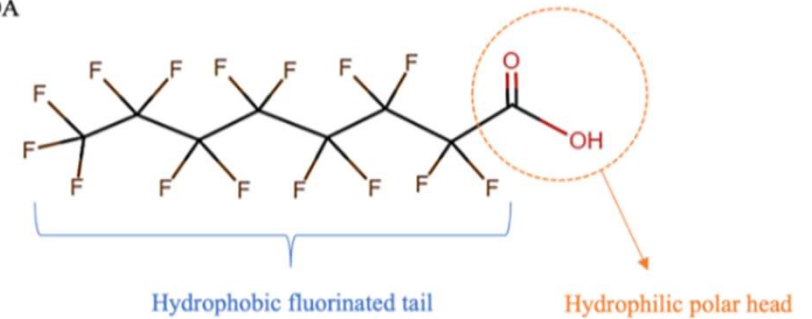
avec une chaîne hydrophile dirigée vers le solvant
et une chaîne hydrophobe dirigée vers l'intérieur

Nombreux sont ionisés dans les conditions environnementales



- Short-chain anionic PFAS
- Long-chain anionic PFAS
- Cationic co-surfactant

(a) PFOA



(b) PFOS

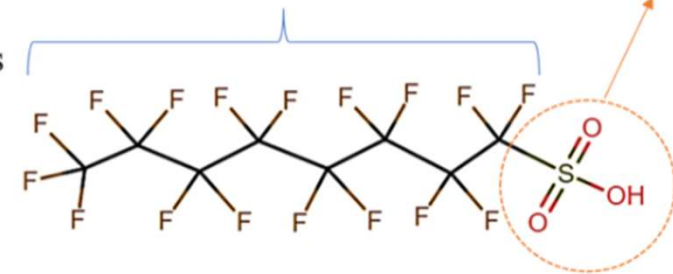


Fig. 2. Amphiphilic structures of PFOA and PFOS.

(Chyi En We A., et al. 2024)

Hydrophobe (waterproof/repellent)
Lipophobe (lipid/grease repellent)

Les PFAS ?

Plus de 200 types d'usages

Fortement utilisés depuis les années 50

(⇔ propriétés, diversité et stabilité de la liaison CF)

Industriel :

Mousses ignifuges

Certains agents nettoyants

Peintures, revêtements ou vernis

Composants de produits électroniques ou photovoltaïques, piles, appareils ou certaines fournitures médicales

Vie du quotidien :

Revêtements antiadhésifs des emballages alimentaires

Contenants antiadhésifs de cuisson (ex. : TeflonMD)

Produits imperméabilisants, retardateurs de flamme ou antitaches de textiles (ex. : Gore-TexMD, ScotchgardMD)

Cosmétiques et produits de soins personnels

Utilisation médicale du fluor : médicaments, dispositifs médicaux et imagerie

Utilisation agricole : pesticides (ex. flufénacet, diflufénicat, fluopyram)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A



<https://www.academie-sciences.fr/sites/default/files/2025-03/rapport%20PFAS-250325.pdf>

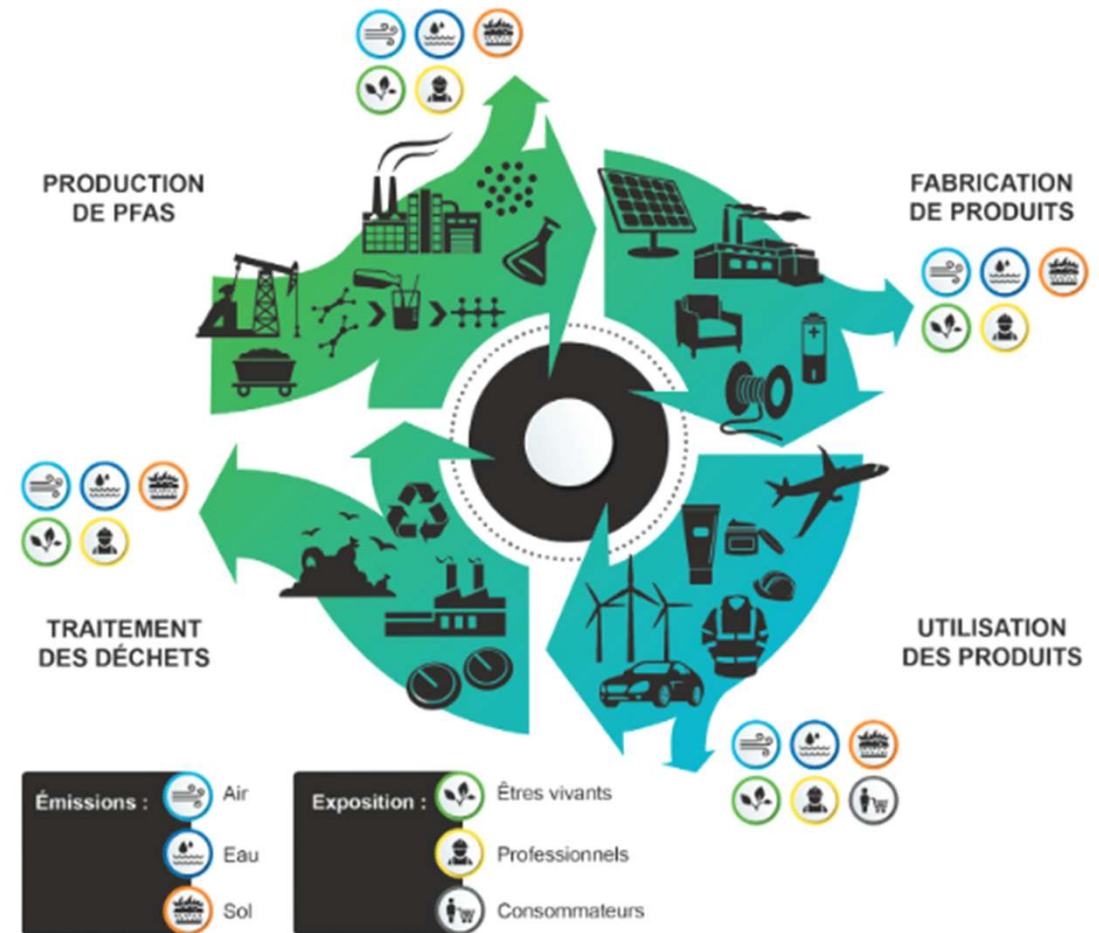
Les PFAS ?

Emissions et sources

Emissions directes de produits, résidus, impuretés
ex. boues urbaines, mousses anti-incendies

Sources indirectes par transformation en produits de dégradation (ex. PFBA, TFA)

(Liu et al. 2013, Evich et al. 2022, Adu et al. 2023)



Les sources d'émissions et d'exposition aux PFAS

<https://www.academie-sciences.fr/sites/default/files/2025-03/rapport%20PFAS-250325.pdf>

Les PFAS ?

Réglementations



Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs)

Convention de Stockholm (2001) : accord international visant à encadrer certains polluants organiques persistants

Annex A (Elimination)

Parties must take measures to eliminate the production and use of the chemicals listed under Annex A. Specific exemptions are available in Annex A for Parties that have registered for them.

Polychlorinated biphenyls (PCB) ▲

Polychlorinated naphthalenes ▲

Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds ▲

Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds ▲

Short-chain chlorinated paraffins (SCCPs) ▲

Technical endosulfan and its related isomers ●

...

PFOA, PFHxS :
Interdit import, export, production, utilisation

Annex B (Restriction)

Parties must take measures to restrict the production and use of the chemicals listed under Annex B in light of any applicable acceptable purposes and/or specific exemptions listed in the Annex.

DDT ●

Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF) ● ▲

PFOS : production et utilisation du restreintes depuis 2009 à une liste d'usages spécifiques

→ **Produits de remplacements :** PFAS à chaînes carbonées plus courtes, PFBS et ses dérivés, GenX....

(<https://pops.int/> 2025 ; Institut national de santé publique du Québec 2025 ; ANSES 2025)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Les PFAS ?

Réglementations, Europe



The screenshot shows the ECHA (European Chemicals Agency) website. The header includes the ECHA logo, navigation links (A propos de l'Agence, Presse, Contact, Emplois), and a search bar. The main menu has four categories: LÉGISLATION, CONSULTATIONS, RECHERCHE DE SUBSTANCES CHIMIQUES, and DOCUMENTS ET INFORMATIONS D'APPUI. The breadcrumb trail indicates the path: ECHA > Législation > REACH > Comprendre REACH. The left sidebar lists REACH topics: Comprendre REACH, Identification des substances, Enregistrement, and Évaluation. The main content area is titled 'Comprendre REACH' and contains a paragraph explaining the regulation. The right sidebar includes social media links and a button to read ECHA Weekly actualités.

ECHA
EUROPEAN CHEMICALS AGENCY

A propos de l'Agence Presse Contact Emplois

Recherche sur le site web de l'ECHA

LÉGISLATION CONSULTATIONS RECHERCHE DE SUBSTANCES CHIMIQUES DOCUMENTS ET INFORMATIONS D'APPUI

ECHA > Législation > REACH > Comprendre REACH

REACH

- Comprendre REACH
- Identification des substances
- Enregistrement
- Évaluation

Comprendre REACH

REACH est un règlement de l'Union européenne adopté pour mieux protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques liés aux substances chimiques, tout en favorisant la compétitivité de l'industrie chimique de l'UE. Il promeut également des méthodes alternatives pour l'évaluation des dangers des substances afin de réduire le nombre d'essais sur les animaux.

Suivez-nous:    

Lire ECHA Weekly actualités

>

Règlement REACH (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques)

Plusieurs composés comme l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) ou l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS) sont **restreints ou interdits dans certains usages**

En 2023, cinq pays, dont la France, ont proposé une restriction plus large de l'ensemble des PFAS
(en cours examen par ECHA)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

(ANSES 2025; <https://www.economie.gouv.fr/>, <https://echa.europa.eu>)

Les PFAS ?

Réglementations, Europe

Directive européenne 2020/2184 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH)

- Suivi des PFAS dans les eaux de boisson : 0.1 µg/L somme 20 PFAS, total PFAS à 0.5 µg/L
- Effective en janvier 2026

DIRECTIVE (EU) 2020/2184 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
of 16 December 2020
on the quality of water intended for human consumption
(recast)

(Text with EEA relevance)

3. Sum of PFAS

The following substances shall be analysed based on the technical guidelines developed in accordance with Article 13(7):

- Perfluorobutanoic acid (PFBA)
- Perfluoropentanoic acid (PFPA)
- Perfluorohexanoic acid (PFHxA)
- Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)
- Perfluorooctanoic acid (PFOA)
- Perfluorononanoic acid (PFNA)
- Perfluorodecanoic acid (PFDA)
- Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)
- Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)
- Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)
- Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)
- Perfluoropentane sulfonic acid (PFPS)
- Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)
- Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)
- Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)
- Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)
- Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)
- Perfluoroundecane sulfonic acid
- Perfluorododecane sulfonic acid
- Perfluorotridecane sulfonic acid

Those substances shall be monitored when the risk assessment and risk management of the catchment areas for abstraction points carried out in accordance with Article 8 conclude that those substances are likely to be present in a given water supply.

Les PFAS ?

Réglementations, Europe

Depuis 01/01/2023, **4 PFAS sont réglementés dans certaines denrées alimentaires d’origine animale** (poissons, mollusques, crustacés, œufs, viande et abats d’animaux de boucherie, de volailles et de gibier) dans le cadre de la mise sur le marché ([règlement \(UE\) 2023/915](#))

Recommandations ([\(UE\) 2022/1431](#) et [\(UE\) 2022/1428](#)) pour que les États membres **surveillent la teneur en plusieurs PFAS dans les denrées alimentaires en 2022 - 2025.**

(ANSES, 2025)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

4.2	Substances perfluoroalkylées	Teneur maximale (µg/kg de poids à l'état frais)				
		PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	Somme du PFOS, du PFOA, du PFNA et du PFHxS
4.2.1	Viandes et abats comestibles ⁽²⁾					
4.2.1.1	Viandes de bovins, de porcins et de volailles	0,30	0,80	0,20	0,20	1,3
4.2.1.2	Viandes d'ovins	1,0	0,20	0,20	0,20	1,6
4.2.1.3	Abats de bovins, d'ovins, de porcins et de volailles	6,0	0,70	0,40	0,50	8,0
4.2.1.4	Viandes de gibier, à l'exclusion des viandes d'ours	5,0	3,5	1,5	0,60	9,0
4.2.1.5	Abats de gibier, à l'exclusion des abats d'ours	50	25	45	3,0	50
4.2.2	Produits de la pêche ⁽²⁾ et mollusques bivalves ⁽²⁾					
4.2.2.1	Chair de poisson					
4.2.2.1.1	Chair musculaire de poisson, à l'exclusion des produits énumérés aux points 4.2.2.1.2 et 4.2.2.1.3	2,0	0,20	0,50	0,20	2,0

Règlement (UE) 2023/915 de la Commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) no 1881/2006 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) C/2023/35

Les PFAS ?

Réglementations, France

[Plan d'action national sur les PFAS](#), publié en 2024 :

Mesures de réduction, de surveillance et de substitution des PFAS dans les produits de consommation et les procédés industriels.

(<https://www.economie.gouv.fr>, 2025)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A



Les PFAS ?

Réglementations, France

Loi du 27 février 2025 :

Interdictions progressives de mise sur le marché de produits contenant des PFAS

À compter du 1^{er} janvier 2026

1^{er} janvier 2030 à tous les textiles avec PFAS (sauf exceptions listés par décret)

LOI n° 2025-188 du 27 février 2025 visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (1)

NOR : *TECX2409828L*

L'Assemblée nationale et le Sénat ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Article 1^{er}

I. – Le titre II du livre V du code de l'environnement est complété par un chapitre IV ainsi rédigé :

« CHAPITRE IV

« PRÉVENTION DES RISQUES RÉSULTANT DE L'EXPOSITION AUX SUBSTANCES PERFLUOROALKYLÉES ET POLYFLUOROALKYLÉES

« Art. L. 524-1. – I. – Sont interdites, à compter du 1^{er} janvier 2026, la fabrication, l'importation, l'exportation et la mise sur le marché à titre onéreux ou gratuit de :

« 1° Tout produit cosmétique contenant des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées ;

« 2° Tout produit de fard contenant des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées ;

« 3° Tout produit textile d'habillement, toute chaussure et tous agents imperméabilisants de produits textiles d'habillement et de chaussures destinés aux consommateurs contenant des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées, à l'exception des textiles d'habillement et des chaussures qui sont conçus pour la protection et la sécurité des personnes, notamment dans l'accomplissement des missions de défense nationale ou de sécurité civile, et dont la liste est précisée par décret.

« II. – Sont interdites, à compter du 1^{er} janvier 2030, la fabrication, l'importation, l'exportation et la mise sur le marché à titre onéreux ou gratuit de tout produit textile contenant des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées, à l'exception des produits textiles nécessaires à des utilisations essentielles, de ceux contribuant

Article 2

Après l'article L. 523-6 du code de l'environnement, il est inséré un article L. 523-6-1 ainsi rédigé :

« Art. L. 523-6-1. – La France se dote d'une trajectoire nationale de réduction progressive des rejets aqueux de substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées des installations industrielles, de manière à tendre vers la fin de ces rejets dans un délai de cinq ans à compter de la promulgation de la loi n° 2025-188 du 27 février 2025 visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées.

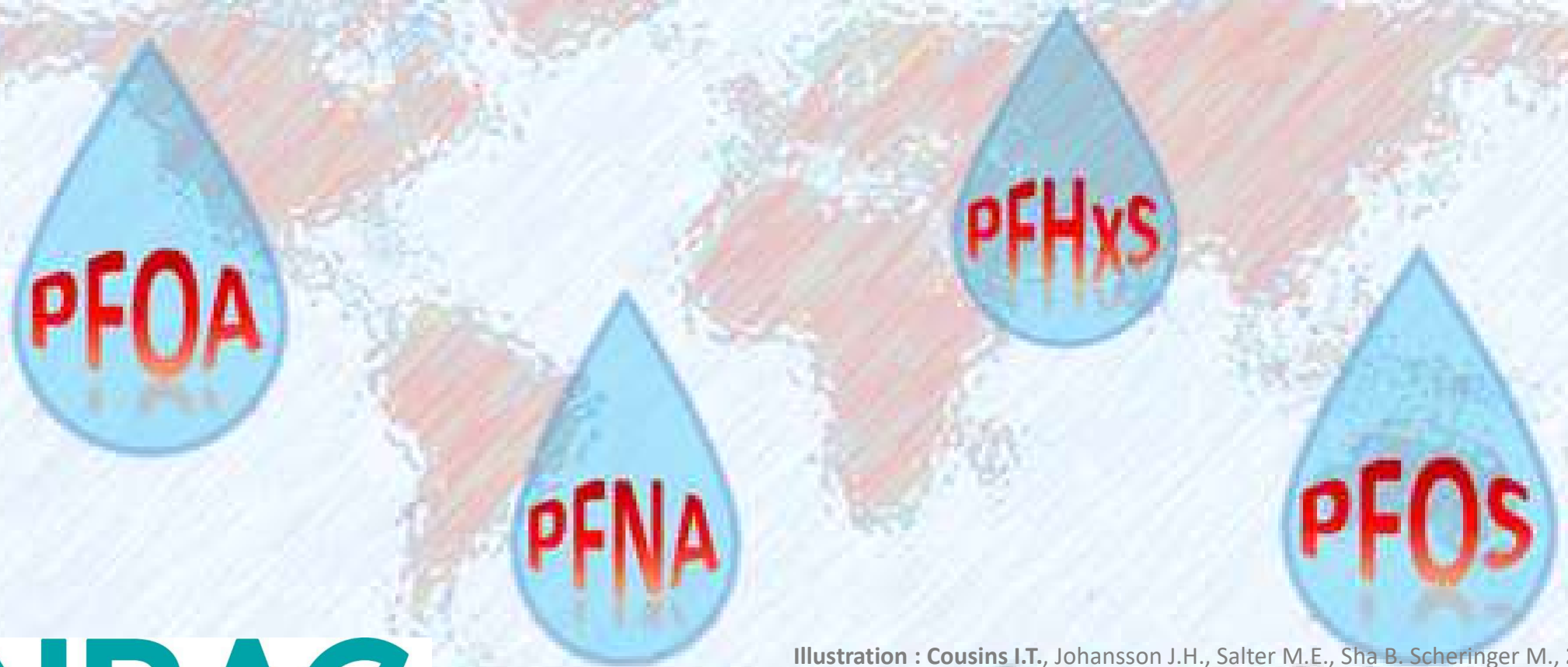
« Cette trajectoire, la liste des substances concernées ainsi que les modalités de mise en œuvre du présent article sont précisées par décret. »

Article 3

Dans un délai d'un an à compter de la promulgation de la présente loi, le Gouvernement se dote d'un plan d'action interministériel pour le financement de la dépollution des eaux destinées à la consommation humaine gérées par les collectivités territoriales responsables des services publics d'eau potable et d'assainissement, que cette gestion soit en régie ou déléguée. Ce plan présente les différentes ressources à la disposition des collectivités pour leur politique de dépollution, le rôle et les missions des agences de l'eau, le rôle de l'Etat dans l'accompagnement de ces politiques publiques ainsi qu'un calendrier prévisionnel.

(<https://www.economie.gouv.fr>, 2025)

(Omni)présence ?



INRAE

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.
Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179

(Omni)présence ?

Précurseurs (ex. Fluorotelomer alcohols and perfluoroalkyl phosphate esters, perfluoroalkyl sulfonamides)

dégradés en molécules plus ou moins courtes / mobiles / récalcitrantes

(ex. perfluoroalkyl carboxylic acids - PFCAs, perfluorosulfonic acids - PFSAs)

... jusqu'à des formes courtes (ultra) persistantes

(ex. PFBA, PFHxA, PFPeA; trifluoroacetate = TFA)

→ **Co-existence dans l'environnement :**

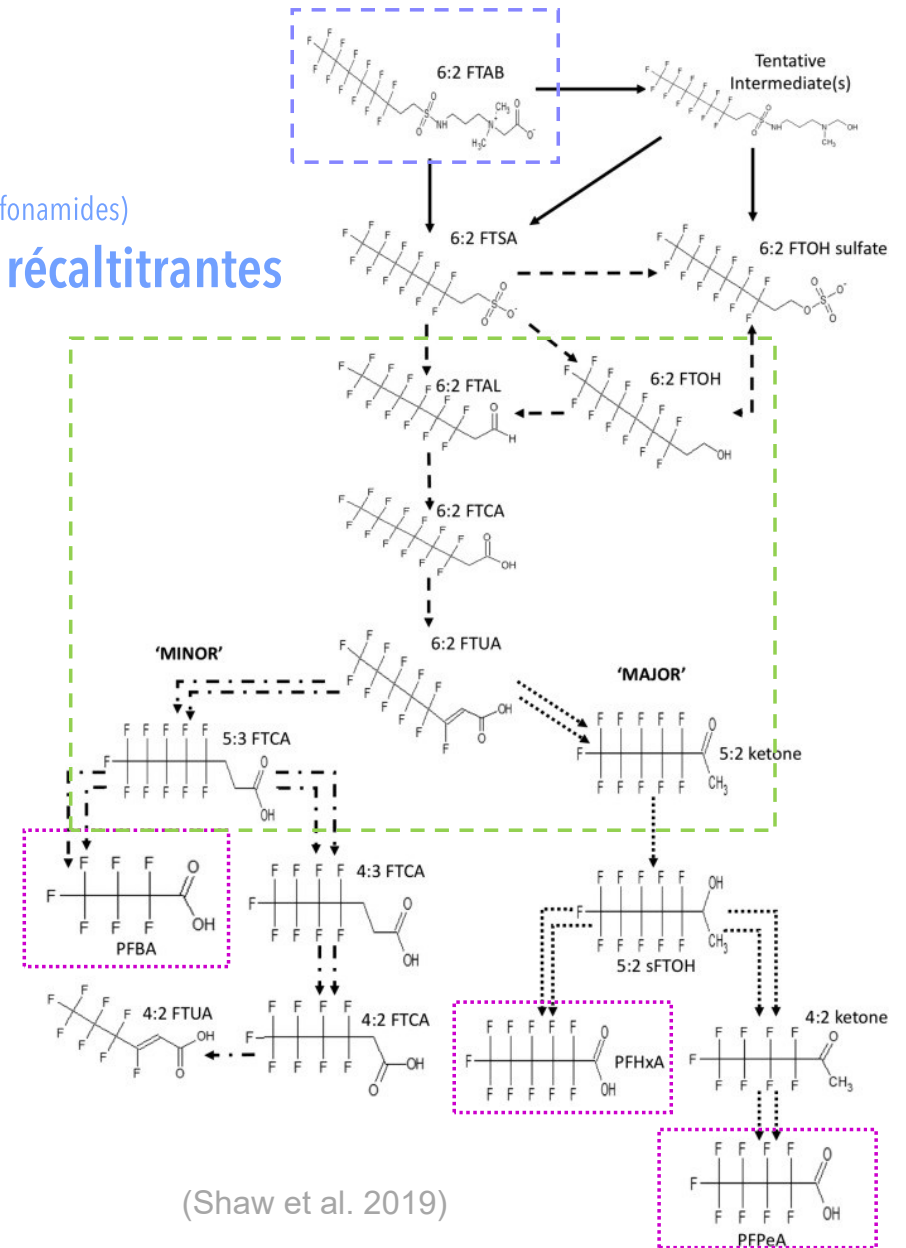
Précurseurs (ex. 6:2 FTAB)

Intermédiaires

Produits de dégradation

(Gikka et al, 2023)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A



(Shaw et al. 2019)

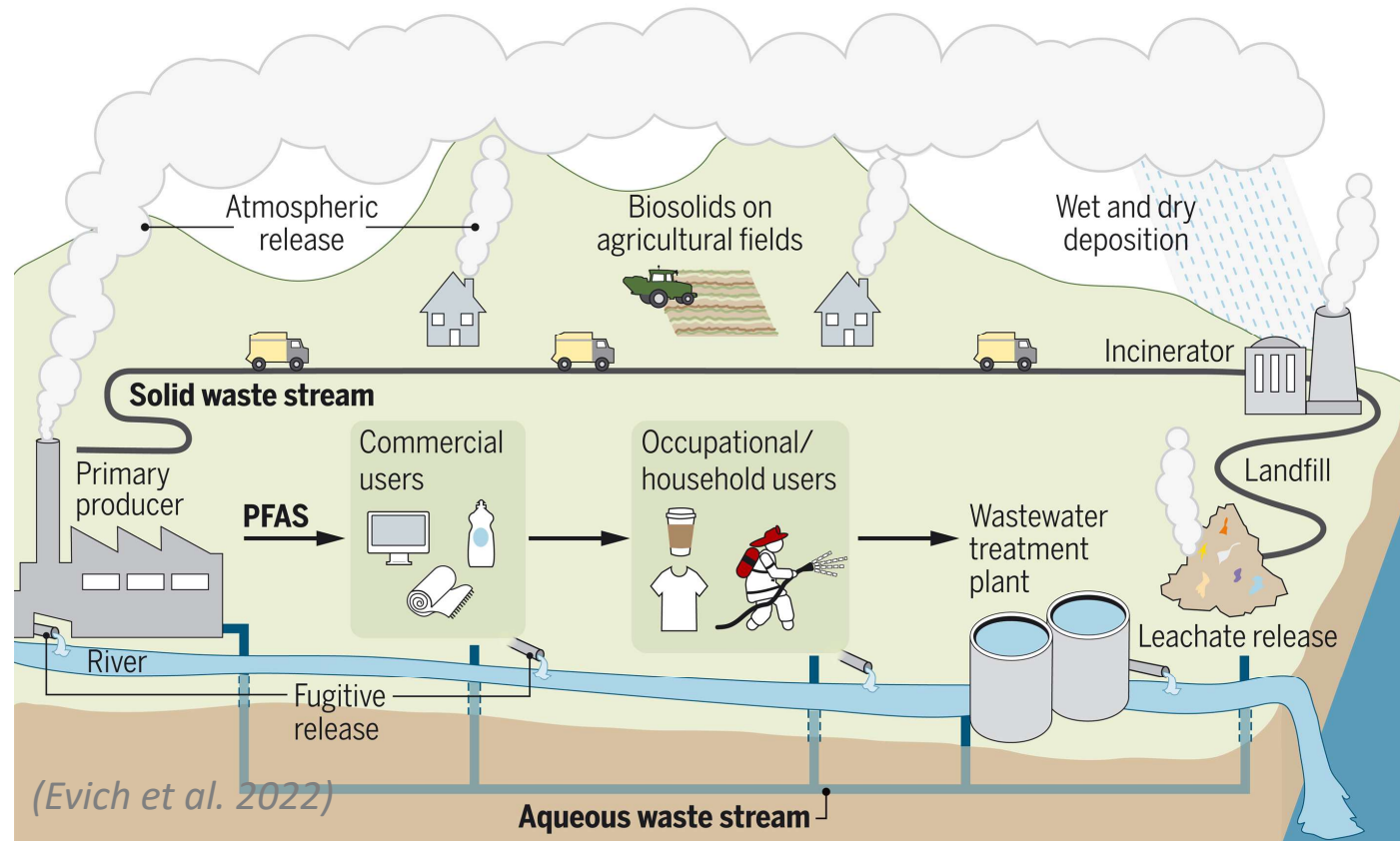
(Omni)présence ?

Pollution durable et large de l'environnement

Y compris dans des zones reculées/isolées

Il y a encore quelques zones où les niveaux restent relativement faibles (ex. Antarctique, plateau Tibétain)

(Buck et al. 2011; Hamid et al. 2018,
Li et al. 2022, Evich et al. 2022,
Cousin et al. 2022)

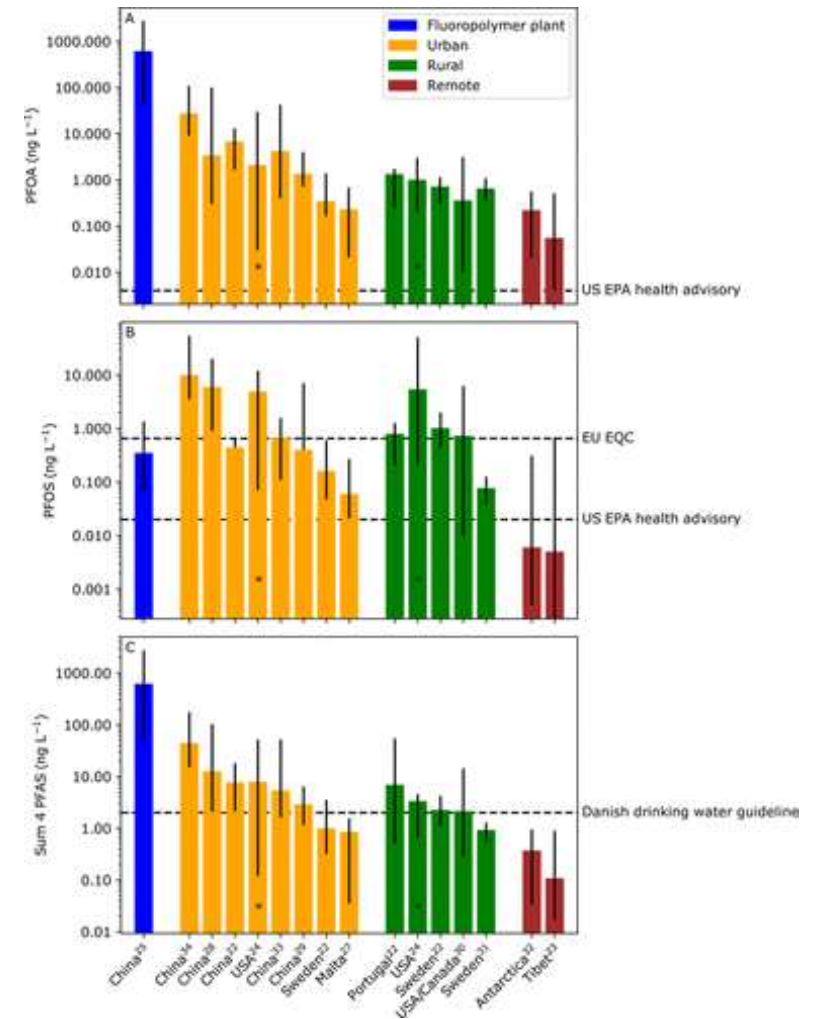


(Omni)présence ?

Présence de PFAS dans les dépôts atmosphériques

Quelque soit le type de zone (ind., urbaine, rurale, éloignée)
Dont PFOS et PFOA interdits

→ Contribution à la contamination des sols/eaux



(Omni)présence ?

Intrants des sols agricoles

Trentaine de pesticides PFAS utilisés en France

certaines sont bioaccumulables, (éco)toxiques
et/ou se transformant en TFA

Exemples :

Flufénacet : herbicide, un des plus vendus en France,
perturbateur endocrinien, transformation en TFA, interdit en
Europe (mars 2025)

Diflufénican : herbicide, 3^{ème} plus utilisé en Bretagne en 2023,
très toxique pour les organismes aquatiques, pas facilement
dégradé, potentiel de bioaccumulation élevé (ex. truite)

Trifloxistrobine : fongicide, rapidement dégradé, se transforme en
TFA, très toxique pour les organismes aquatiques, potentiel de
lixiviation

(Handbook of Pesticide Toxicology (Second Edition) 2001, EFSA
2024, EcoPhyto 2025, INERIS 2025)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Le Monde

Planète Comprendre le réchauffement climatique 9 indicateurs de l'urgence climatique

PLANÈTE · POLLUTIONS

L'eau potable des Français menacée de non-conformité par un polluant éternel

Les ressources hydriques sont massivement contaminées par une molécule issue de la dégradation du flufénacet, un pesticide récemment classé perturbateur endocrinien. Les associations demandent son interdiction en urgence.

Par Stéphane Foucart et Stéphane Mandard

Publié le 12 novembre 2024 à 05h58, modifié le 15 novembre 2024 à 16h20 · Lecture 5 min · [Read in English](#)

[Lire plus tard](#)



Article réservé aux abonnés



Pulvérisation de produits phytosanitaires sur un champ de blé à Saint-Rogatien (Charente-Maritime), le 1^{er} avril 2021. LEOTYX / ANDIA.FR

(Omni)présence ?

Intrants des sols agricoles

Amendements organiques

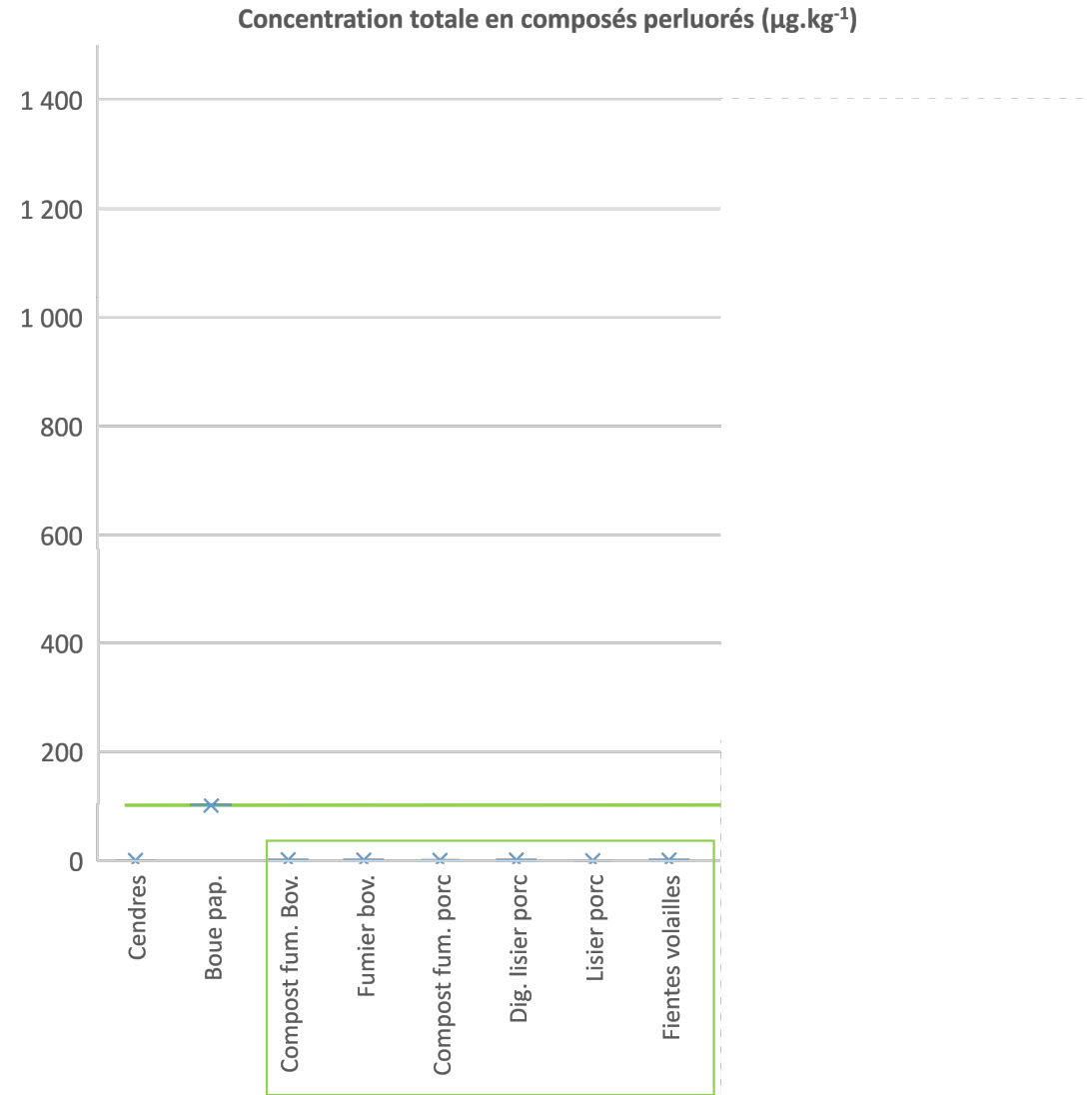
Etude Munoz et al. 2021, EST

47 Produits organiques, 1976-2018

PFOS (100% échantillons étudiés)

PFOA (96% échantillons étudiés)

Présence de précurseurs (ex. 6:2 FTAB)



Effluents élevage : médiane 0.6 $\mu\text{g/kg}$, moyenne 4 PFAS
→ apports faibles

(Omni)présence ?

Intrants des sols agricoles

Amendements organiques

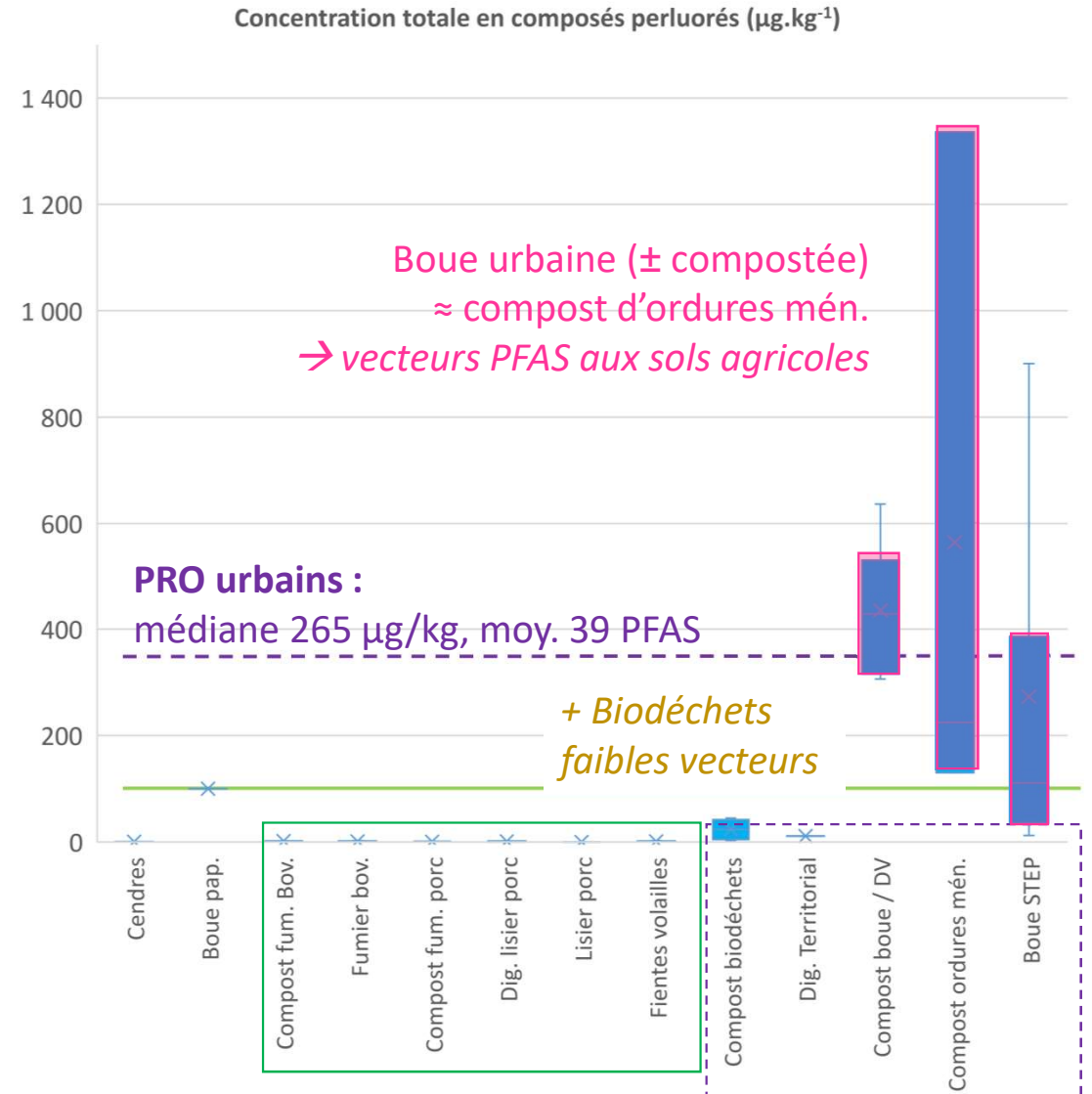
Etude Munoz et al. 2021, EST

47 Produits organiques, 1976-2018

PFOS (100% échantillons étudiés)

PFOA (96% échantillons étudiés)

Présence de précurseurs (ex. 6:2 FTAB)



Effluents élevage : médiane 0.6 $\mu\text{g/kg}$, moyenne 4 PFAS
→ apports faibles

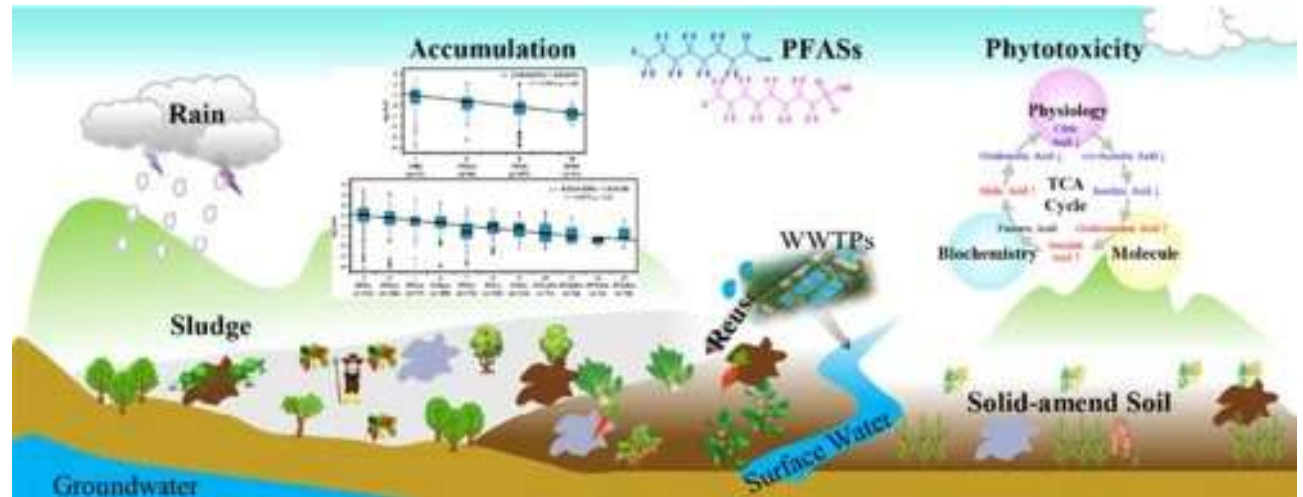
(Omni)présence ?

Autres sources de contamination des sols

Mousses anti-incendies

Pertes depuis des décharges et zones industrielles

(Li et al. 2022, Evich et al. 2022)



(Hamid et al. 2022)

(Omni)présence ?

Présence en sols agricoles

Etude Michaud et al. 2025 (STOTEN)

PFAS dans tous sols $\pm$ amendés

Bien en dessous de sites contaminés (jusqu'à 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ MS)

Produits dégradation surtout retrouvés (PFCA, PFSA)

PFPeA, MeFOSAA, PFHpA, PFHxS, PFHxA, PFDA...

PFOA, PFOS $\approx$ 50% stocks estimés

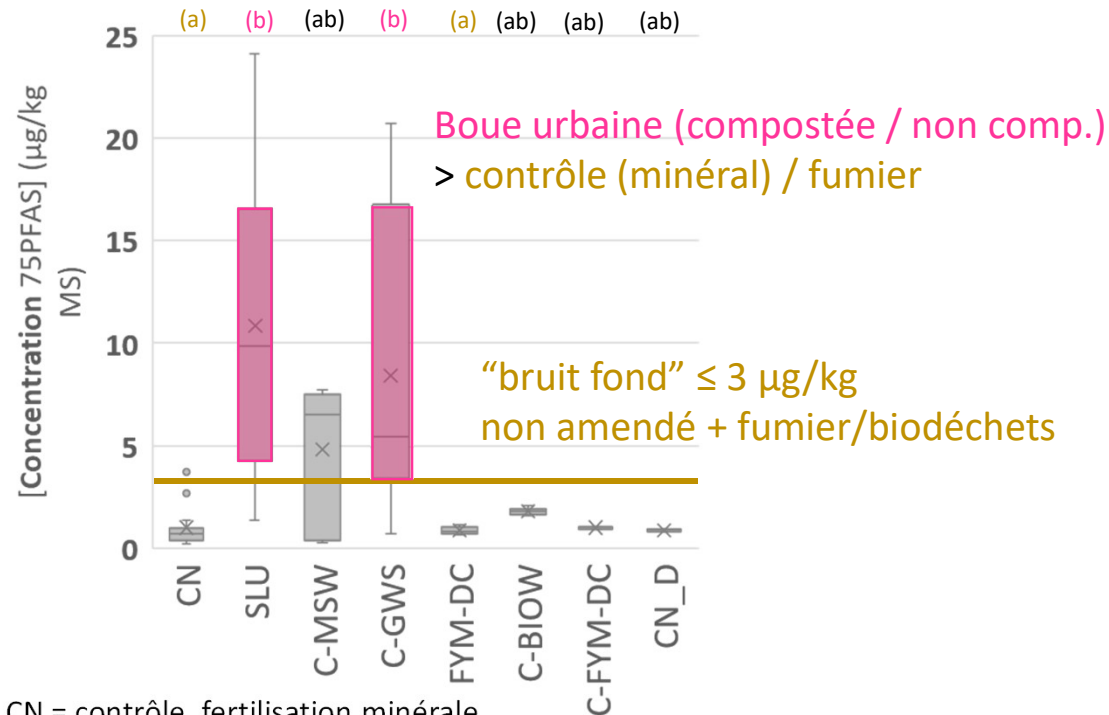
→ Transformation de précurseurs

Augmentation temporelle significative

Y compris dans le contrôle

Quelles sont les sources du bruit de fond en sols agricoles et quels risques associés ?

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A



CN = contrôle, fertilisation minérale

CN_D = contrôle avec digestat biodéchets

SLU = boue urbaine

C-MSW = compost ordures ménagères résiduelles

C-GWS = compost boue urb. Déchets verts

C-BIOW = compost biodéchets

FYM-DC = fumier bovins

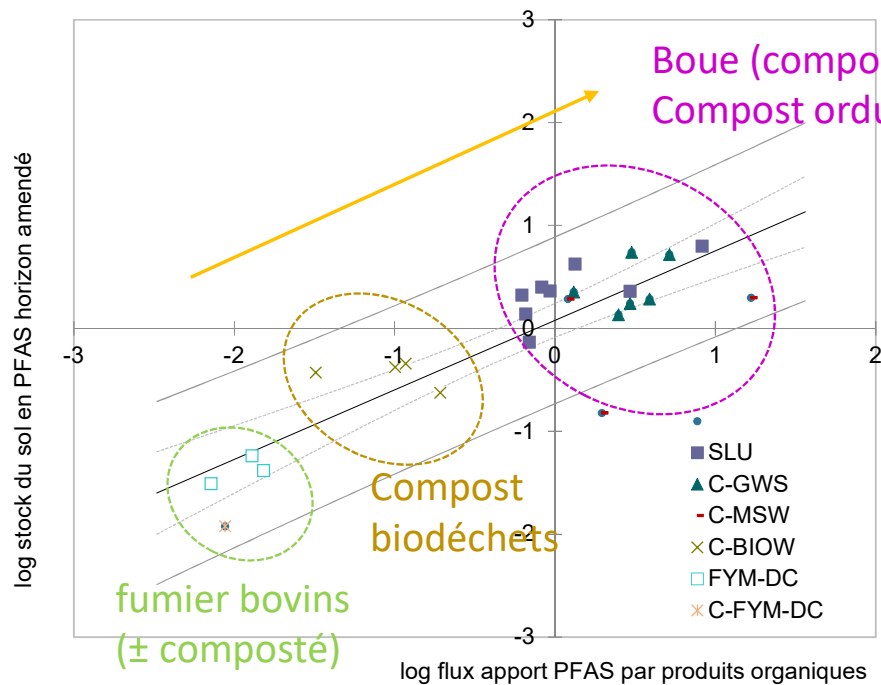
C-FYM-DC = compost fumier bovins

(+ Michaud et Sauvé 2024, COMIFER JT PRO)

(Omni)présence ?

Présence en sols agricoles

Etude Michaud et al. 2025 (STOTEN)



➔ stock sols en lien avec
➔ flux de PFAS apporté par des intrants organiques

FYM/C-FYM-DC < C-BIOW < SLU $\approx$ C-GWS $\approx$ C-MSW

SLU = boue urbaine

C-MSW = compost ordures ménagères résiduelles

C-GWS = compost boue urb. Déchets verts

C-BIOW = compost biodéchets

FYM-DC = fumier bovins

C-FYM-DC = compost fumier bovins

(Omni)présence ?

Migration dans les eaux du sol

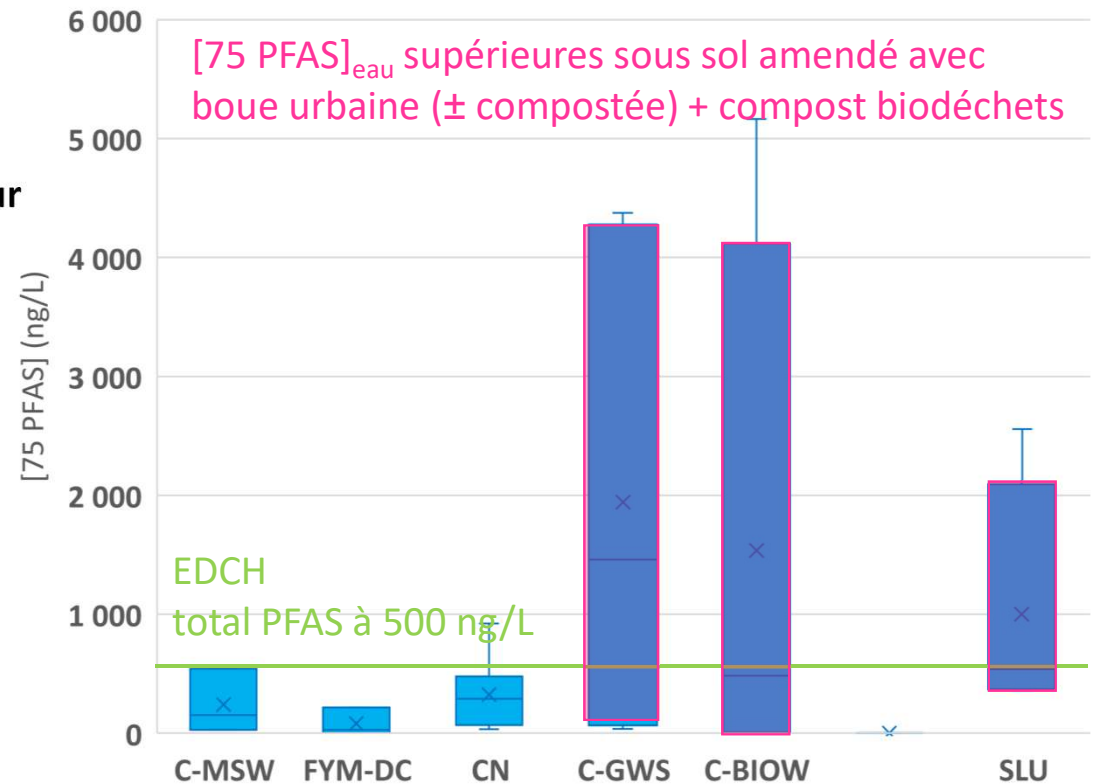
Etude Michaud et al. 2025 (STOTEN)

PFAS retrouvés dans eaux lixiviation sous horizon labour
y compris en sols non amendés ou avec fumier

→ **Migration verticale** dans les eaux du sol

PFAS anioniques

Majoritairement PFCA (perfluoroalkyl carboxylic acids)
(= produits dégradation)



Quelles sont les dynamiques spatiales et temporelles ? Quid du TFA ?

(Omni)présence ?

Migration dans les eaux du sol

Etude Michaud et al. 2025 (STOTEN)

PFAS anioniques

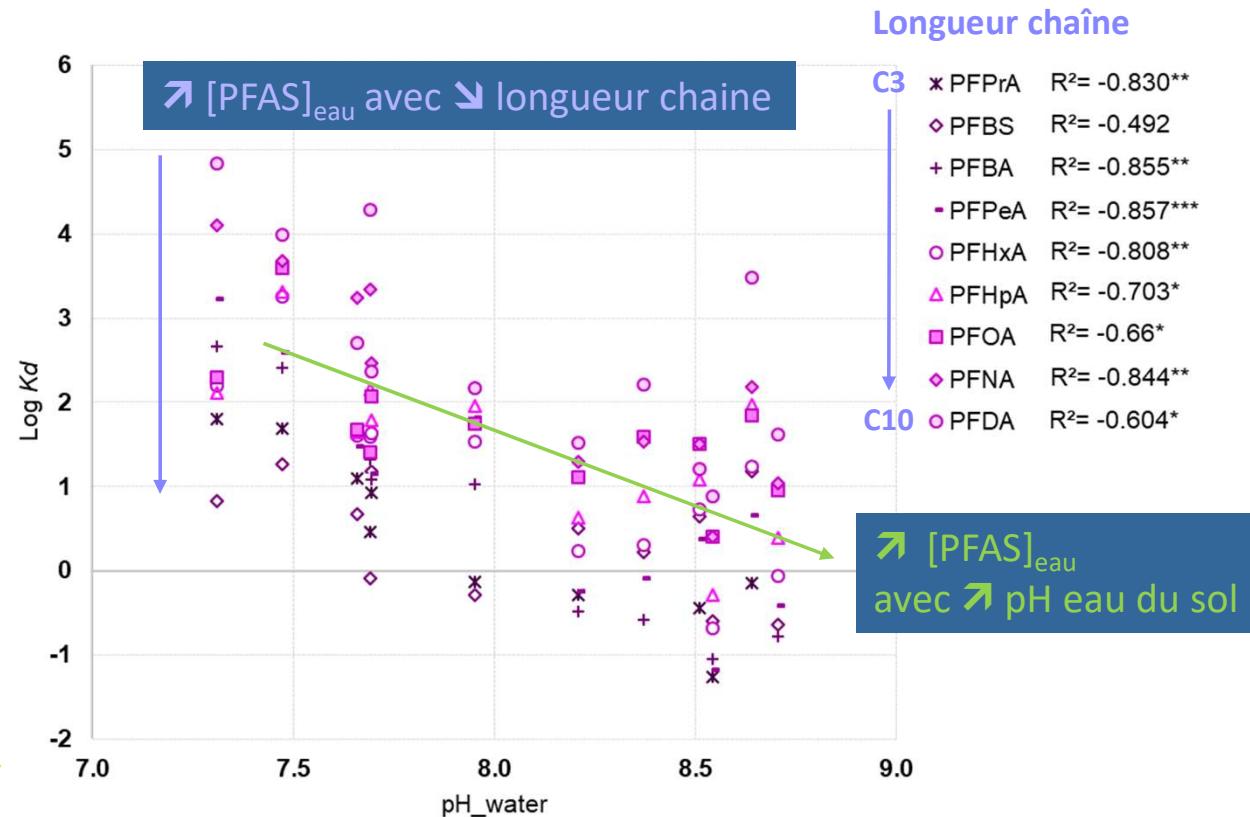
Majoritairement PFCA (perfluoroalkyl carboxylic acids)
(= produits dégradation)

Kd = coefficient distribution sol/eau
Indication potentiel lixiviation et disponibilité de contaminants
(Sauvé et al. 2000)

Comment est cette relation dans d'autres contextes pédoclimatiques ?

+ adsorption
sol

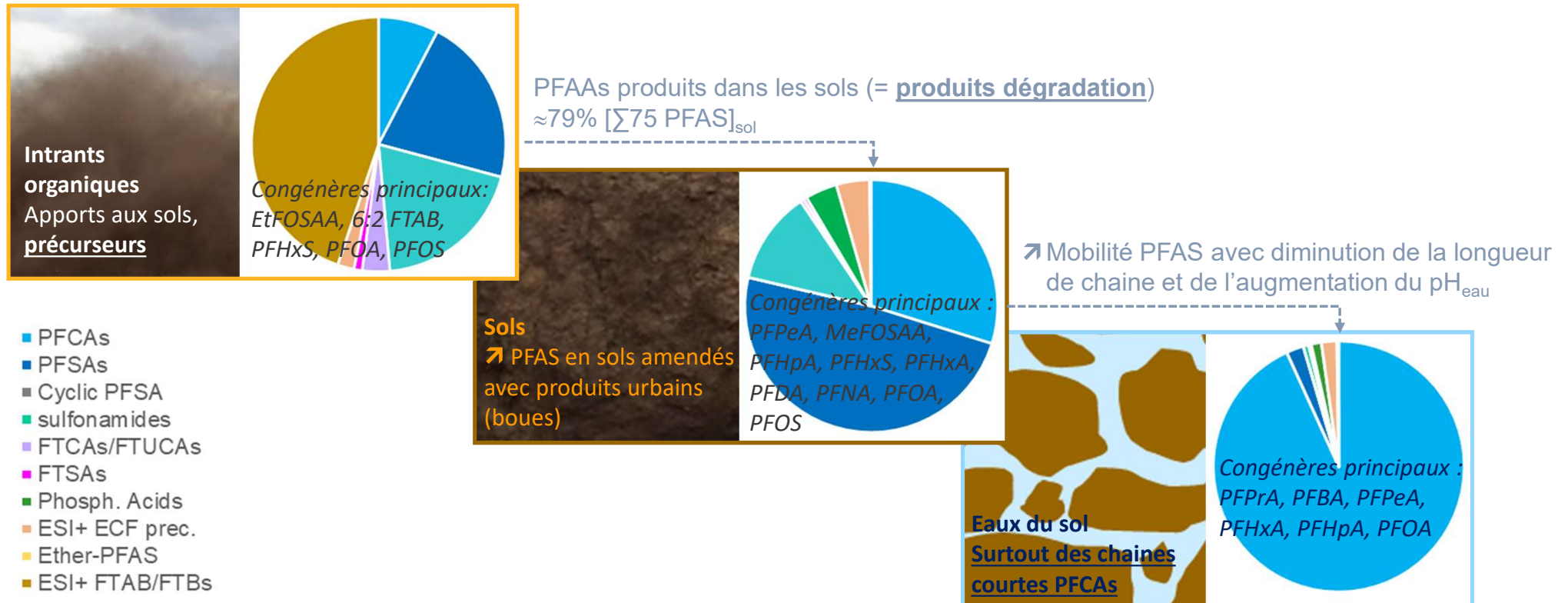
+ mobilité
eau



(Omni)présence ?

Continuum intrants – sol – eaux (cultures)

Etude Michaud et al. 2025 (STOTEN)



➔ **Sols réservoirs pouvant alimenter la contamination des ressources en eau** (migration latérale et verticale)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

(Omni)présence ?

Transfert aux cultures

Etude Dunsin Saliu et al. 2025, en préparation

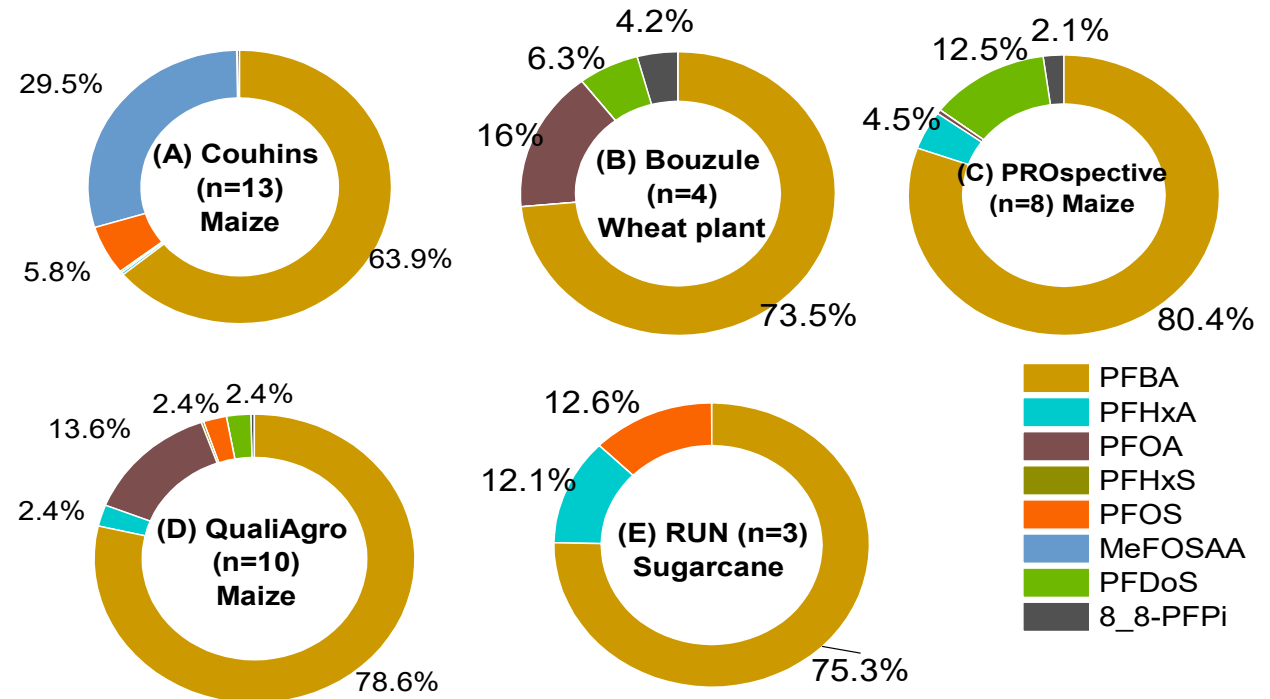
Grains maïs/blé, tige cane à sucre

PFCAs principalement à courte chaîne

(= produits dégradation)

PFBA (55% des échantillons, C4)

→ **Contamination cultures**



Abondance relative des PFAS (% de la somme PFAS) des cultures

Littérature: the uptake of PFAAs seems to be an energy-dependent active uptake process, mediated by carrier proteins

Quid pour d'autres cultures et situations ?

(Omni)présence ?

Présence dans les masses d'eau

Migration depuis les sols dans les eaux de surfaces de bassins versants

Cas du PFOS

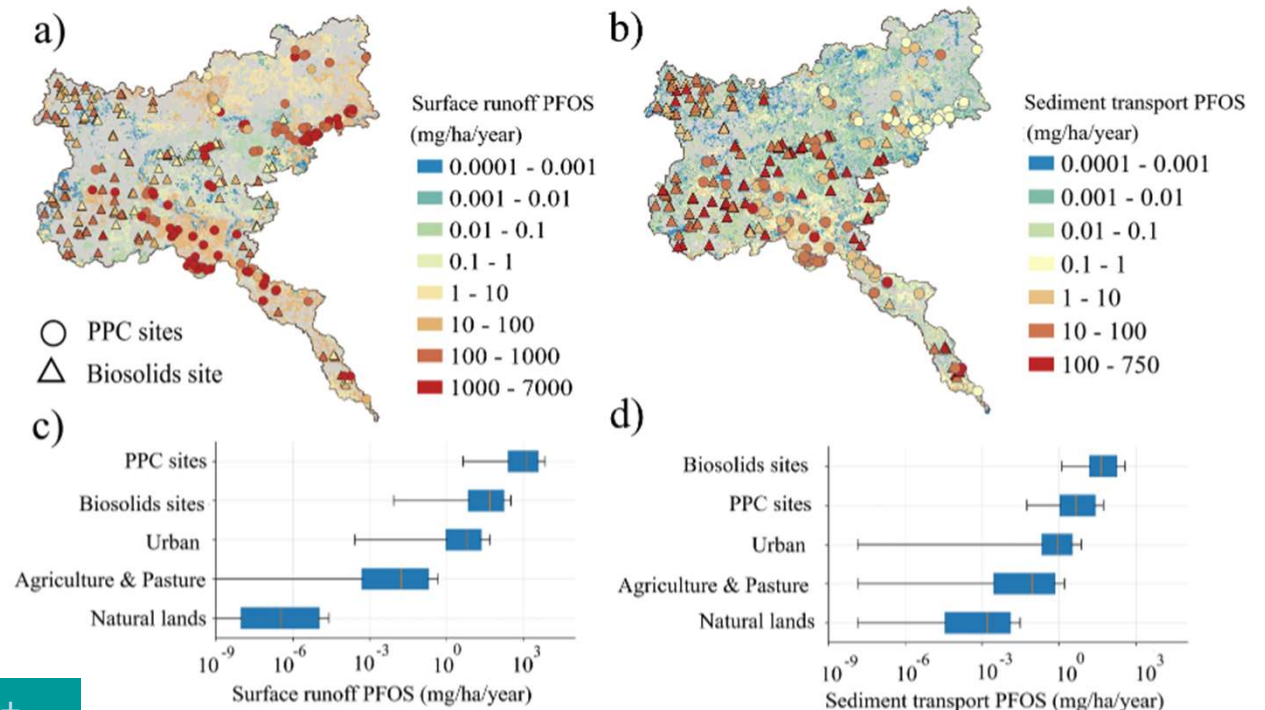
Etude Rafiei and Nejadhashemi 2023

Transport du PFOS

(site potentiellement contaminés, apports boues, sites urbains, agricoles...)

- Eaux de ruissellements
- Transports avec des sédiments (notamment avec boues urbaines)

Quid pour une diversité de PFAS et situations (ex. ± boues, ± phyto, ± rejets STEP, cultures, ≠ pH) ?



(Omni)présence ?

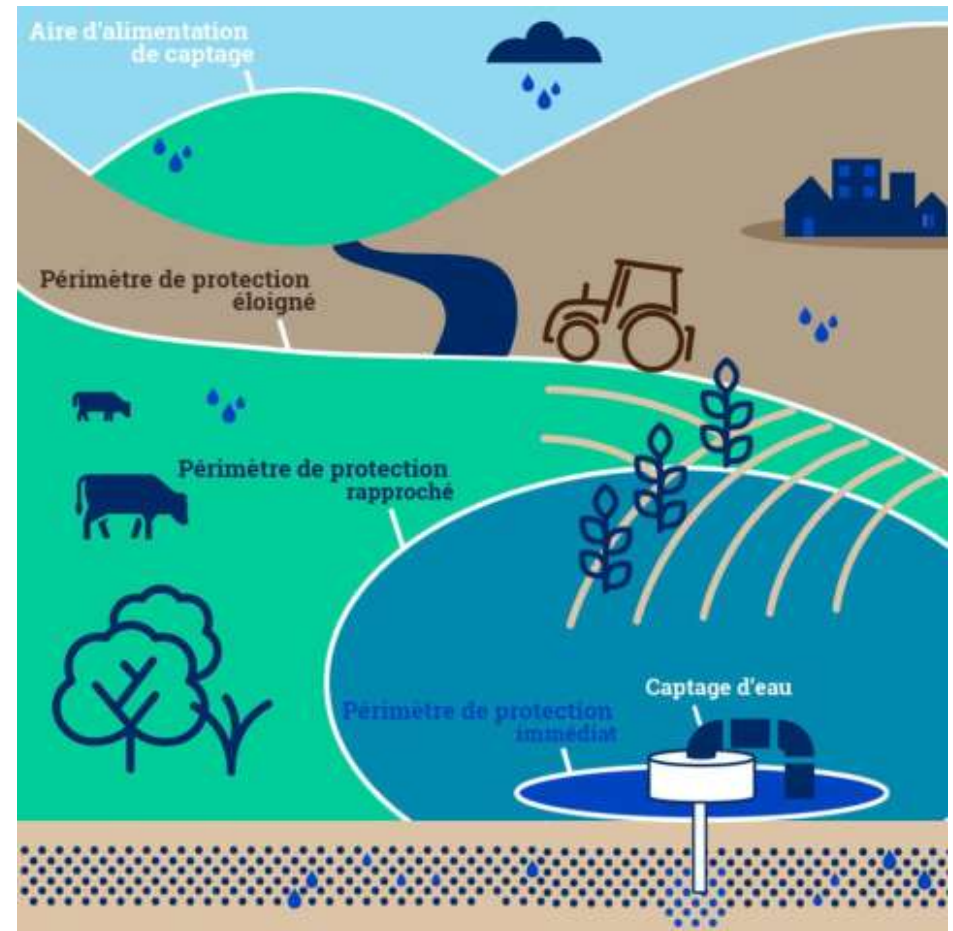
Présence dans les masses d'eaux

La présence de PFAS dans des captages d'eau potable

Peut résulter de :

- Rejets de station d'épuration
- Rejets industriels
- Contaminations par des mousses anti-feux (à proximité d'aéroports, de dépôts hydrocarbures, de sites d'exercices incendies, etc.)

(<https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/les-pfas-et-l-eau-destinee-a-la-consommation-humaine>)



(lesagencesdeleau.fr)

(Omni)présence ?

Présence dans les masses d'eaux

Eaux potable

[Consulter le journal](#)

Planète | Comprendre le réchauffement climatique · 9 indicateurs de l'urgence climatique

PLANÈTE · POLLUTIONS

PFAS : l'eau potable en France est massivement contaminée par les « polluants éternels », notamment à Paris

Deux campagnes distinctes menées par le laboratoire Eurofins et les associations UFC-Que choisir et Générations futures révèlent des concentrations élevées en acide trifluoroacétique (TFA).

Par Raphaëlle Aubert, Stéphane Foucart, Stéphane Horel et Stéphane Mandard
Publié le 23 janvier 2025 à 05h11, modifié le 24 janvier 2025 à 12h38 ·  Lecture 5 min · [Read in English](#)

 Lire plus tard 

 Article réservé aux abonnés



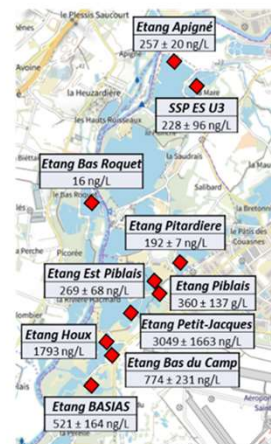
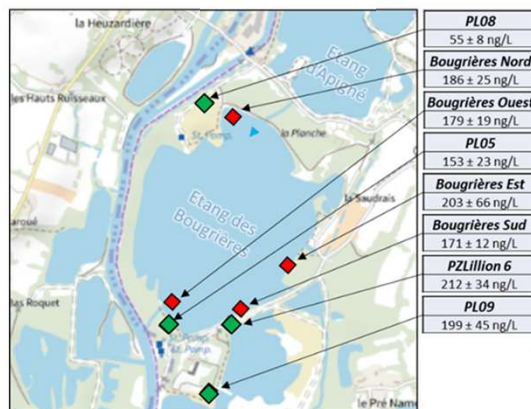
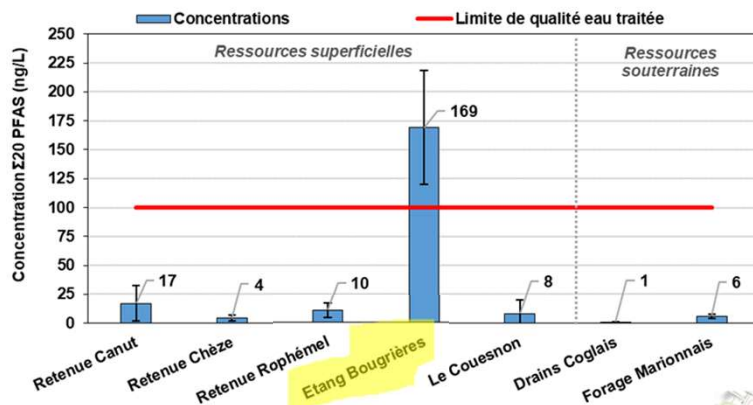
A Paris, en 2020. FRANCK FIFE / AFP

En France, la contamination de l'eau potable par les « polluants éternels » (PFAS, pour substances per- et polyfluoroalkylées) atteint des niveaux insoupçonnés. Deux campagnes de mesures, rendues

(Omni)présence ?

Présence dans les masses d'eau

Présence des PFAS sur le bassin rennais



- Concentrations < 100 ng/L pour 6 ressources en eau du bassin rennais
- Etang des Bougrières contaminé, mais ressource de secours avec une importante dilution en entrée d'usine

Présence de PFAS dans de multiples masses d'eau :

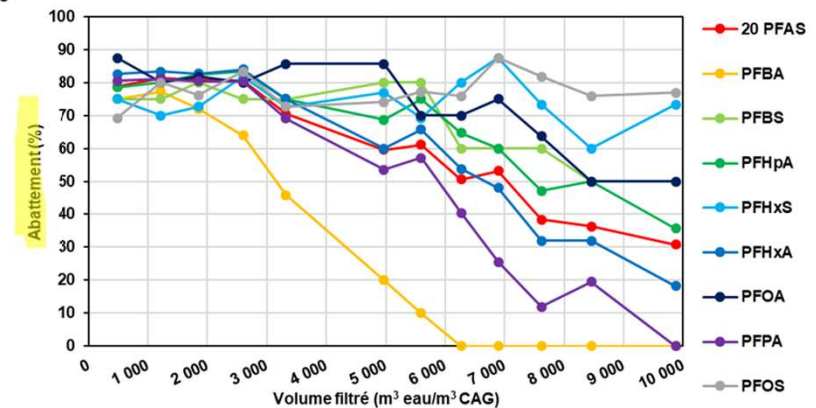
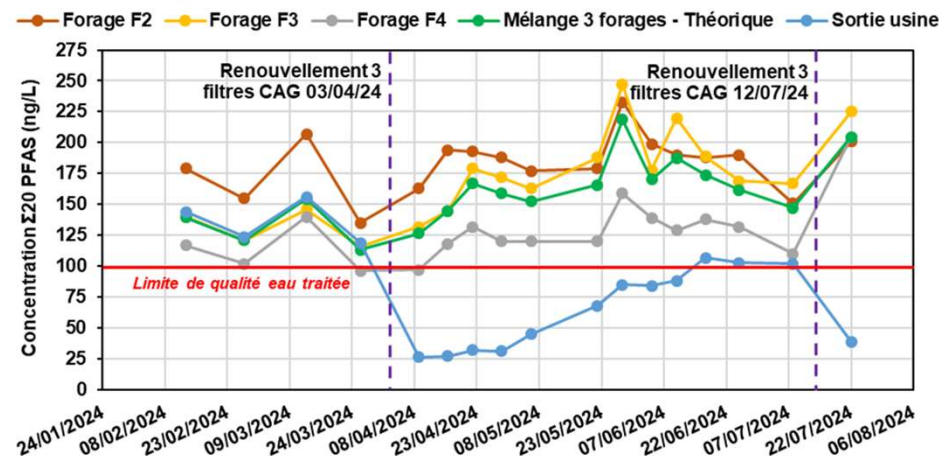
- Etang des Bougrières et nappe souterraine,
- Autres étangs à proximité de décharges et sites/sols classés,
- Eaux pluviales et bassins tampons,
- Rivière le Bloune et dans une moindre mesure la Vilaine
- Eaux usées rejetées dans la Vilaine

Ronan Guilloussou, Tifenn Greff, Marie Mathulik, Jean-Yves Gaubert, Stéphane Louasil, Laurent Geneau, « Présence et traitement des PFAS sur le bassin rennais », 26^{ème} Journées Information Eaux, Poitiers, 9 octobre 2024

(Omni)présence ?

Présence dans les masses d'eaux

Elimination des PFAS sur l'usine de production d'eau potable de Lillion à Rennes



- Concentrations et évolution similaires entre les 3 forages alimentant l'usine de Lillion
- « Non-conformités » en février et mars en sortie usine → capacité adsorption PFAS nulle
- Renouvellement tous les 2 mois permet de respecter la limite de qualité
- **Impact économique important (+ 100'000 €/an) et fortes contraintes d'exploitation**

Quid du TFA?
Quid autres PFAS ?

➤ Abattement avec
➤ chaine et ↗ volume filtré

Ronan Guilloussou, Tifenn Greff, Marie Mathulik, Jean-Yves Gaubert, Stéphane Louasil, Laurent Geneau, « Présence et traitement des PFAS sur le bassin rennais », 26^{ème} Journées Information Eaux, Poitiers, 9 octobre 2024

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Risques ?

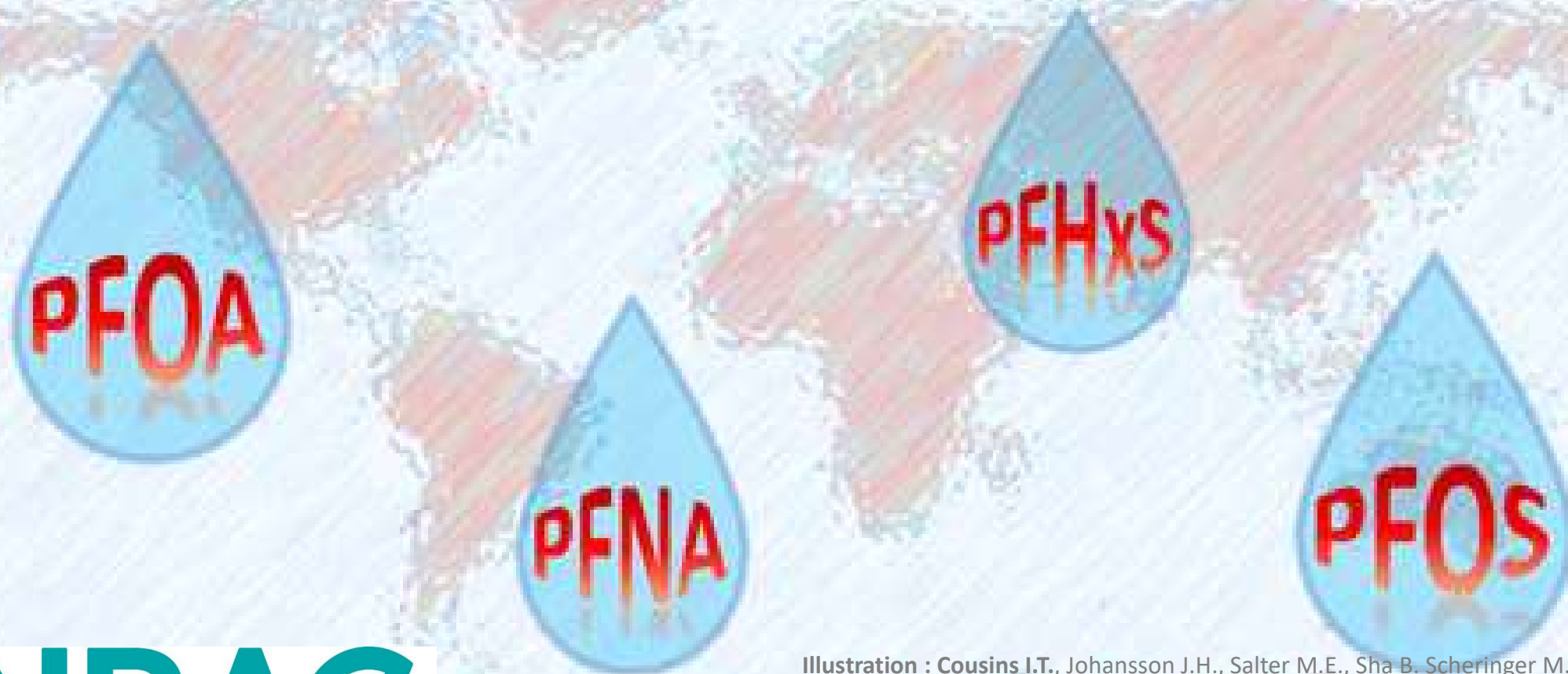


Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.
Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179



Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A

Risques ?

Exposition

Directe : alimentation, poussières

Indirecte : biotransformation précurseurs après ingestion

L'alimentation, incluant les boissons, représente le vecteur d'exposition principal pour la majeure partie de la population (INERIS, Identification des principales voies d'exposition aux PFAS, 2025)

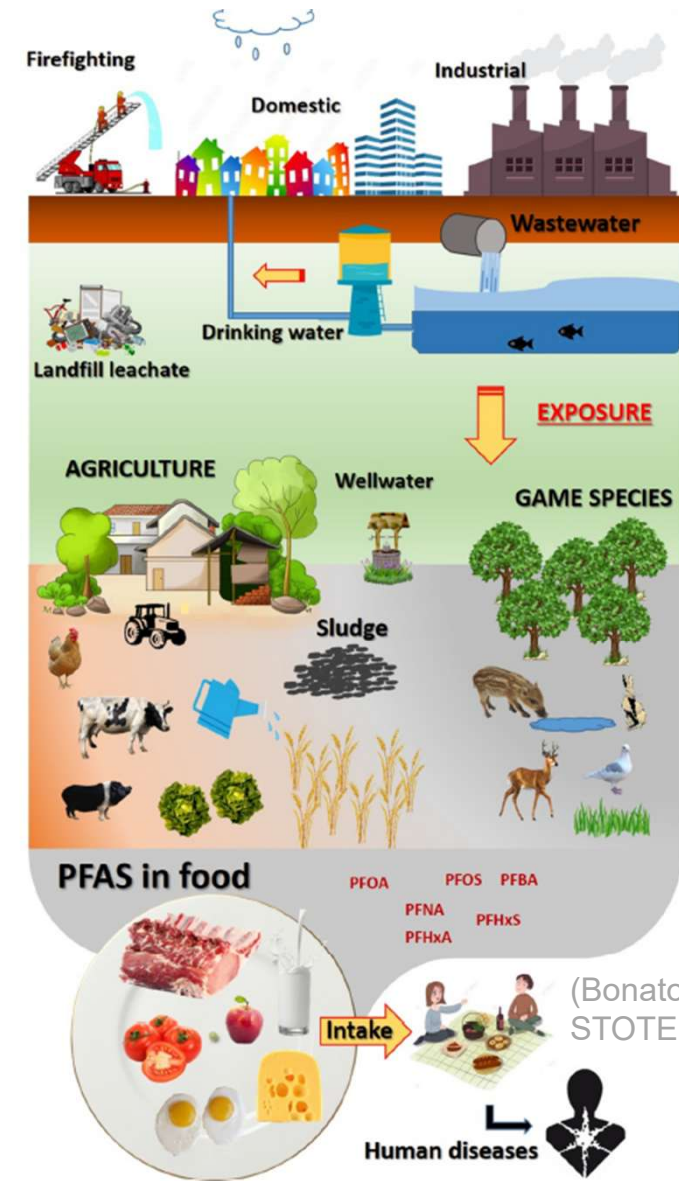


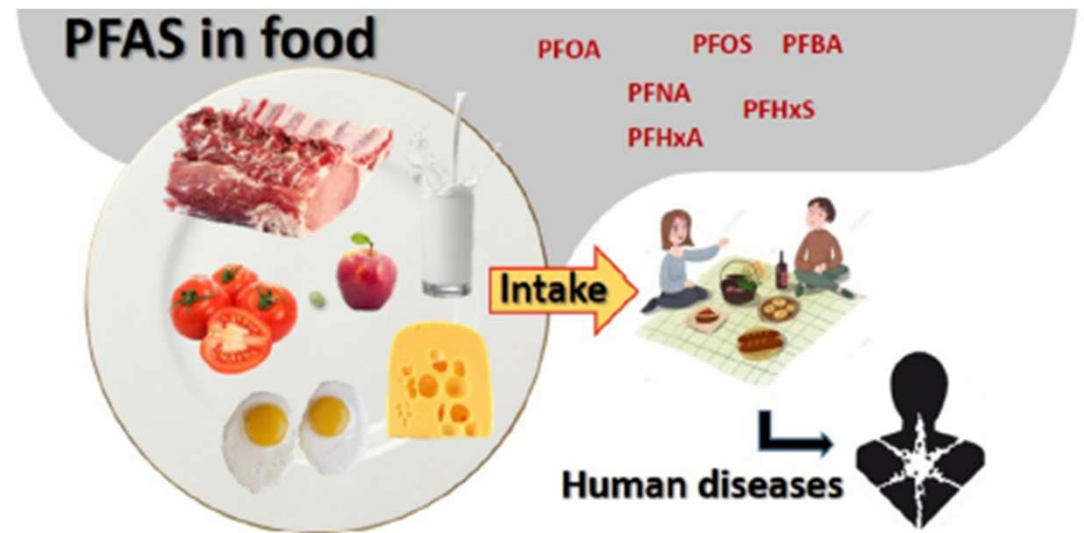
Fig. 1. Potential human exposure pathway of PFAS contaminants from commercial/industrial sources through the terrestrial food chain.

Risques ?

Alimentation

Selon l'EFSA (European Food Safety Authority),
L'exposition par l'alimentation est surtout représentée par les produits aquatiques, la viande, les produits laitiers et végétaux.
Le prélèvement à partir du sol et de l'eau a été trouvé comme étant un voie de transfert dans les cultures.

(Bonato et al. 2025)



(Bonato et al. 2025, STOTEN)

Risques ?

Bioaccumulation

Extraits rapport INERIS Identification des principales voies d'exposition aux PFAS, 2025

- Les PFSA se bioaccumulent plus que les PFCA, de même que les PFAS à chaîne longue se bioaccumulent davantage que les PFAS à chaîne courte
- Plus forte affinité pour les protéines et les phospholipides (Gikka et al. 2023)

Animaux :

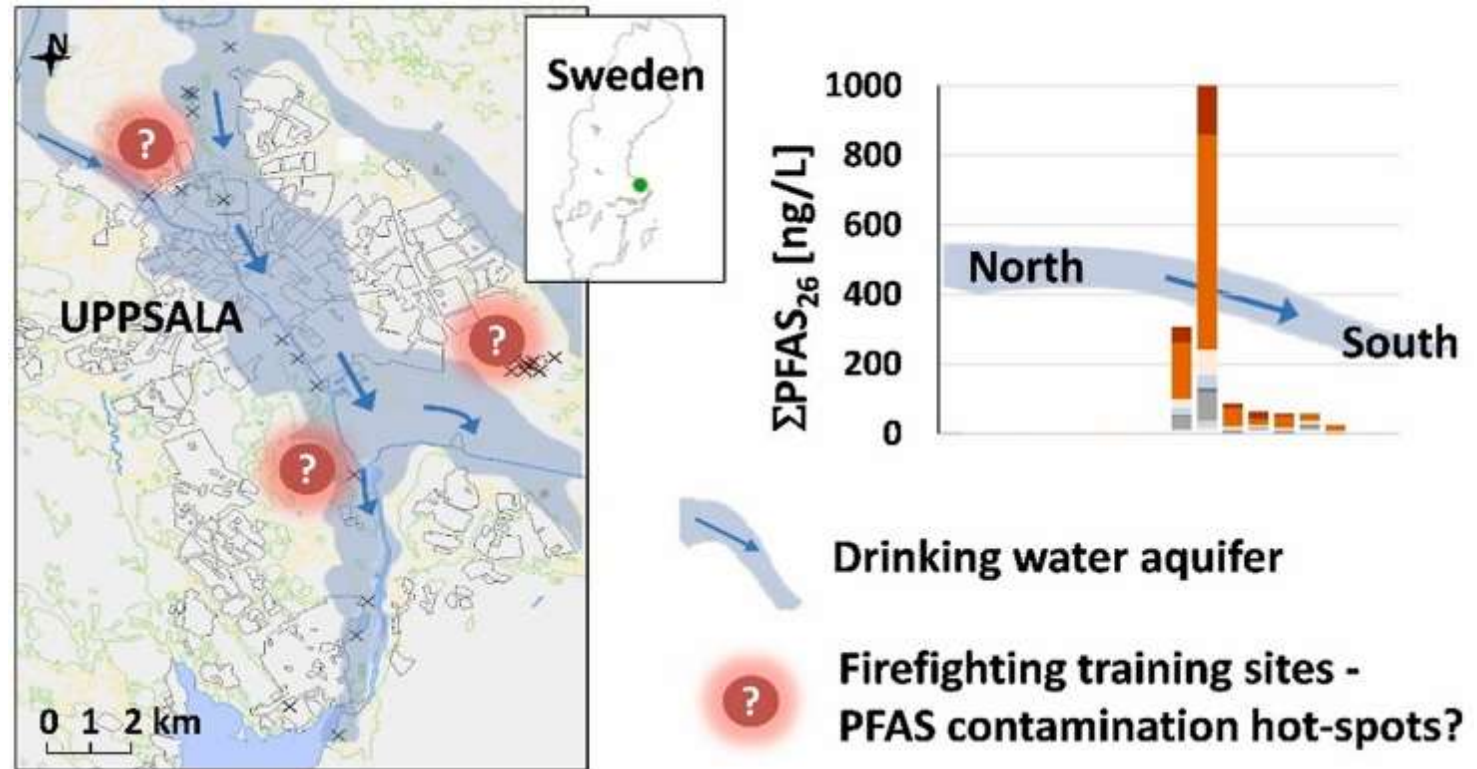
- Il convient donc d'être notamment attentif aux teneurs de PFAS dans les aliments fournis aux animaux d'élevage (eau, végétaux, compléments alimentaires)
- les PFAS se concentrent essentiellement dans le jaune d'œufs. Le taux de transfert du PFOS dans les œufs est proche de 100 %
- Les précurseurs peuvent contribuer de manière significative à la contamination des organismes par biotransformation interne
- Ils se bioaccumulent davantage dans le foie, le sang et les reins, le muscle est moins contaminé.

Végétaux :

- Dans les légumes-feuilles et les fruits, les PFAA à chaîne courte s'accumulent davantage que les PFAA à chaîne longue
- Les organes végétatifs (comme les feuilles et les tiges) de la plante tendent à accumuler des concentrations plus élevées que les organes reproducteurs et de stockage

Risques ?

Mobilité et transport longue distance



(Sörengard et al. 2022)

Risques ?

Effets sur la santé

Altération du métabolisme des lipides

Cancers

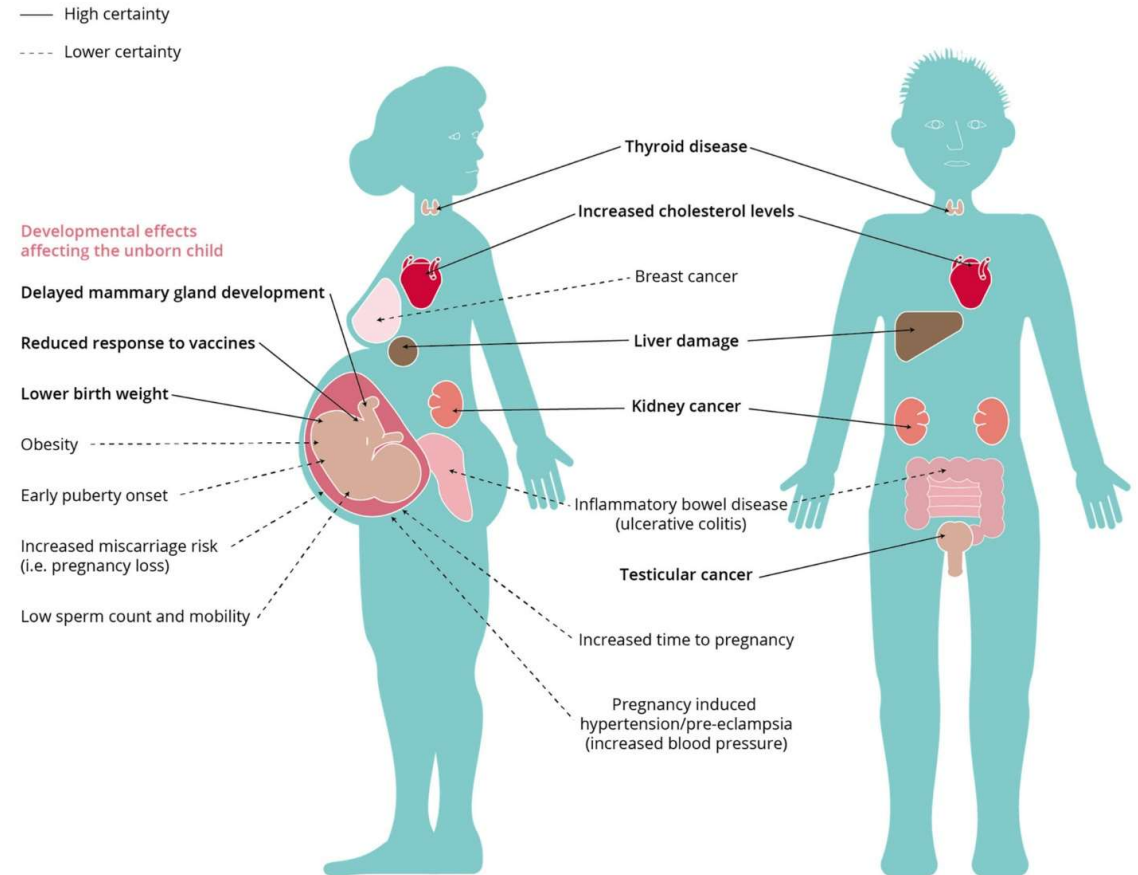
Problèmes de thyroïde

Poids réduit à la naissance

Dommages au foie

Système immunitaire

Altération réponse vaccinale (= mesure du dérangement du système immunitaire ; observé pour différents vaccins, enfants/adultes)



(Fenton et al. 2021 ; Enviro Toxic and Chemistry, Volume: 40, Issue: 3, Pages: 606-630, First published: 05 October 2020, DOI: (10.1002/etc.4890))

Risques ?

Cas du TFA

Extrait du rapport Académie des sciences 2025

Le cas du TFA

Le TFA (acide trifluoroacétique) mérite une vigilance particulière : actuellement considéré comme étant la plus petite molécule appartenant à la famille des PFAS (chaîne ultra courte à deux atomes de carbone), ce composé fait l'objet de beaucoup d'attention dans les médias²³. Issu principalement de la dégradation de PFAS et notamment de pesticides et de fluides réfrigérants, il est le plus répandu et abondant dans l'environnement et, présent en faibles concentrations dans tous les réseaux hydrographiques, il est détectable dans les eaux minérales en bouteille.

La petite taille de sa chaîne ne place pas ce PFAS « émergent » parmi la liste des 20 PFAS préoccupants. Cependant, étant donné ses effets sur le foie et la reproduction des mammifères qui ont été récemment mis en évidence²⁴, et son caractère ubiquiste dans les milieux (les concentrations de TFA sont supérieures de plusieurs ordres de grandeur à celles des autres substances per- et polyfluoroalkylées), il paraît nécessaire de prendre des mesures pour réduire ses émissions ainsi que celles de ses précurseurs²⁵. Pour l'heure, seuls quelques pays européens, tels que les Pays-Bas, ont réglementé sa présence à l'aide d'une valeur seuil autorisée dans l'eau.

Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux ... Perspectives en Bretagne ?



Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.
Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179

Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux

Enjeux, quelques exemples

Caractère émergent de ces contaminants, du fait de la toxicité et de l'écotoxicité de certains PFAS (ex. flufénacet, TFA, PFOS, PFOA), et de l'absence de données, il est nécessaire :

Estimer la contamination des eaux par divers PFAS (+ que les 20 de la directive), dont TFA

Accompagner les gestionnaires dans la caractérisation et la prise en compte de la contamination de l'eau par les PFAS en particulier pour les producteurs d'eau potable

Estimer la contamination en PFAS des sols agricoles et les transferts qui en découlent (eaux, cultures)

Fournir des valeurs d'ingestion chronique via l'alimentation

Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux ... Perspectives en Bretagne ?

Etude « PFAS dans les bassins versants » 2025-2028

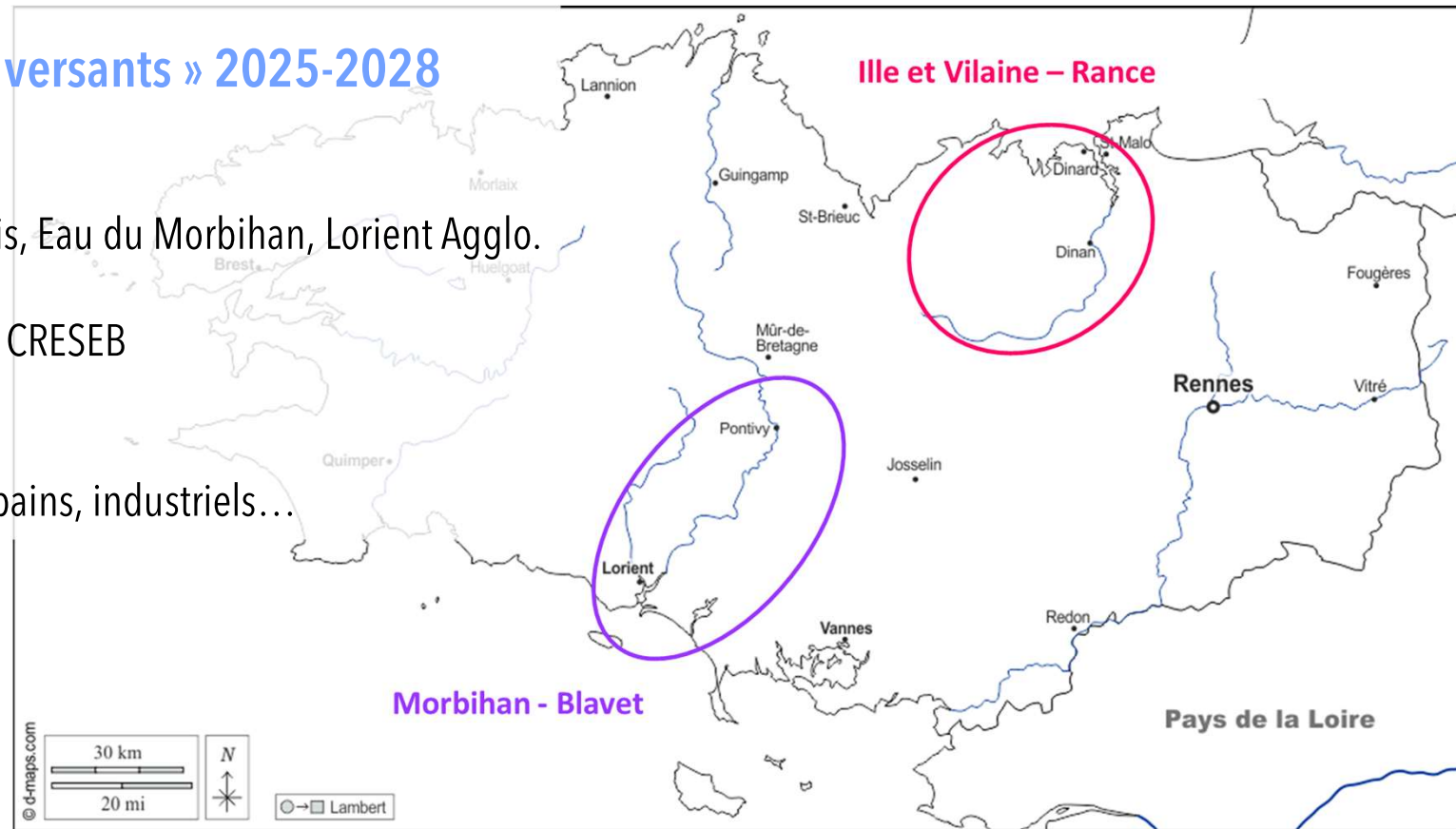
Financement : AELB

Cofinancement : Eau du Bassin Rennais, Eau du Morbihan, Lorient Agglo.

Partenaires : INRAE SAS, CNRS EcoBio, CRESEB

2 zones d'études Blavet et Rance

Diversité sources apports agricoles, urbains, industriels...



Les composés poly- et perfluorés dans l'eau des clés pour comprendre les enjeux ... Perspectives en Bretagne ?

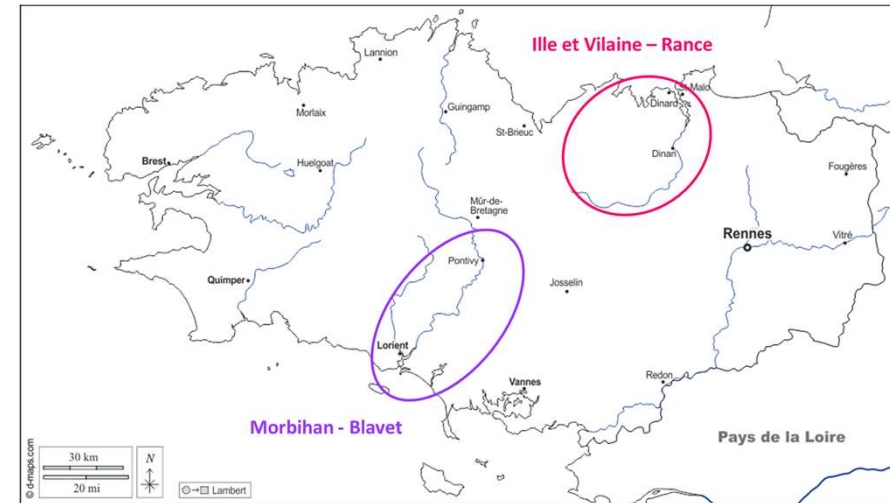
Etude « PFAS dans les bassins versants » 2025-2028

Résultats attendus

Les résultats seront produits et diffusés auprès des acteurs impliqués dans la gestion de l'eau

- **Dans les eaux de plusieurs bassins versants dont certains en emboîtement, et dans des exutoires alimentent des captages d'eau potable**, Chèze-Canut et de Rophémel alimentant le bassin Rennais avec 7 à 10 millions de m³/an chacun:
 - profils de substances PFAS
 - fréquence et niveaux de concentrations
 - évaluation des pics de concentrations dans le temps et en fonction des saisons
 - voies de transfert des PFAS depuis les sols agricoles vers les eaux de surface (de consommation)
 - effet de l'usage du territoire sur les niveaux concentrations dans les eaux de surface
- **Dans les sols et les cultures représentatives des usages des sols/territoires**, niveaux de concentrations et profils, niveaux de prélèvements par des cultures à destination humaine et animale
- **Dans les estuaires**, niveaux de concentration et profils dans les eaux, les sédiments et quelques organismes aquatiques
- In fine, **calcul des niveaux d'ingestion chronique** liés l'alimentation humaine et animale (eau, végétaux, produits aqua.)

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Michaud A



Etudes conduites par l'université de Montréal sur les eaux

Les PFAS au Québec et ailleurs, dans l'eau et un peu partout



- Sébastien Sauvé, Ph.D., MSRC
- Professeur titulaire
- Département de chimie
- Université de Montréal
- sebastien.sauve@umontreal.ca



Université
de Montréal



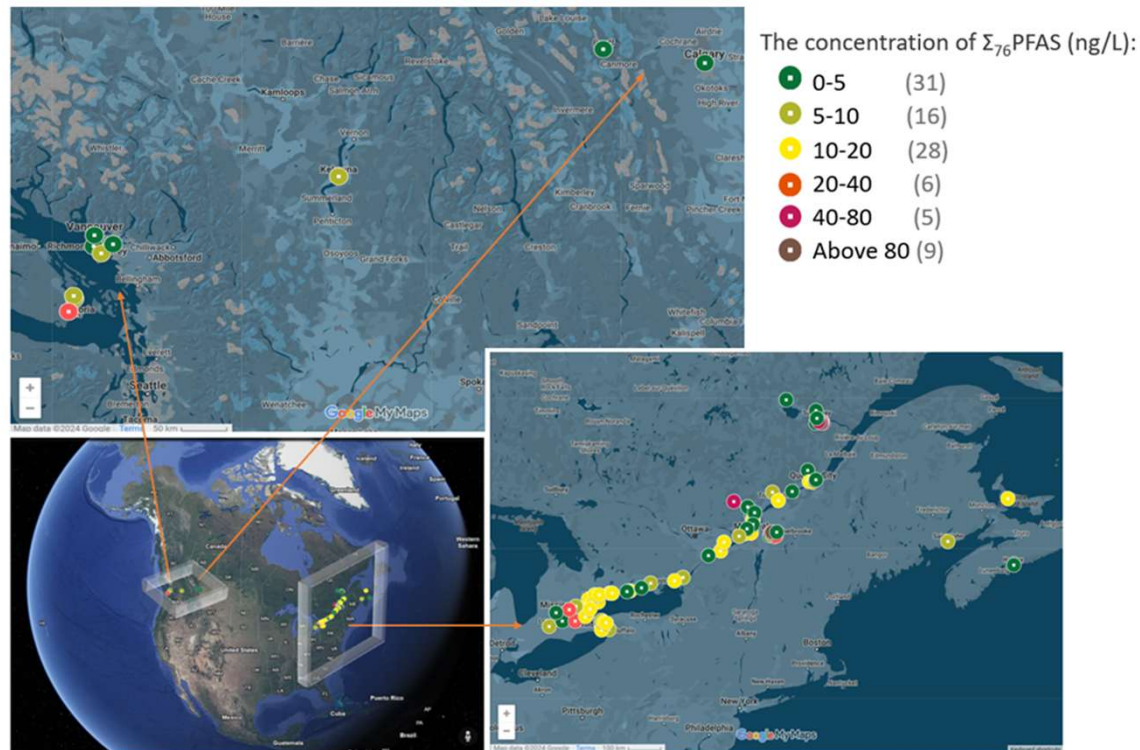
ACADÉMIE
d'AGRICULTURE
de FRANCE

AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT

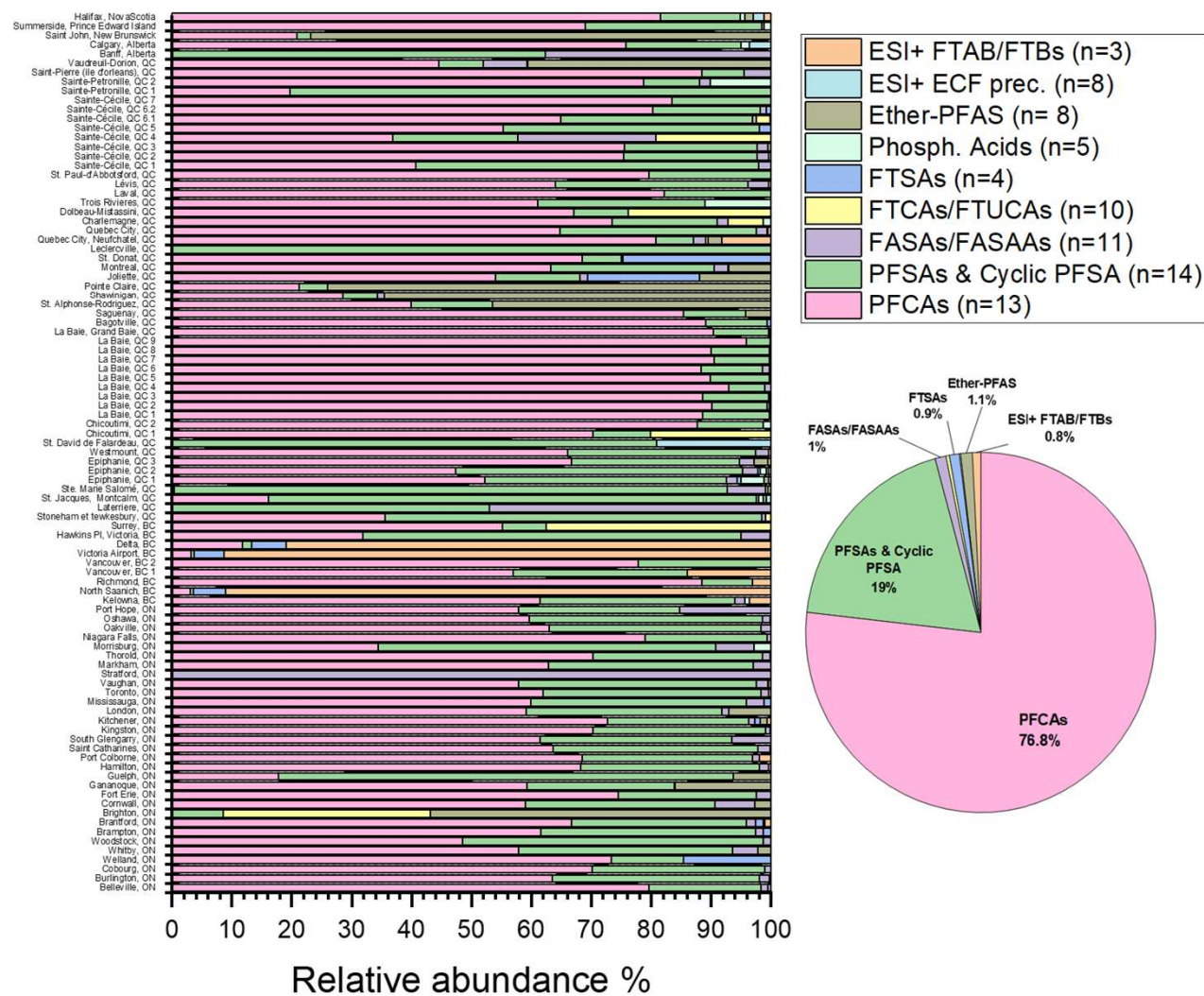
Illustration : Cousins I.T., Johansson J.H., Salter M.E., Sha B. Scheringer M., 2022.
Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
Environ. Sci. Technol., 56 (16), 11172-11179

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Sauvé S

Eau Potable au Canada (80 PFAS + 200 suspects)

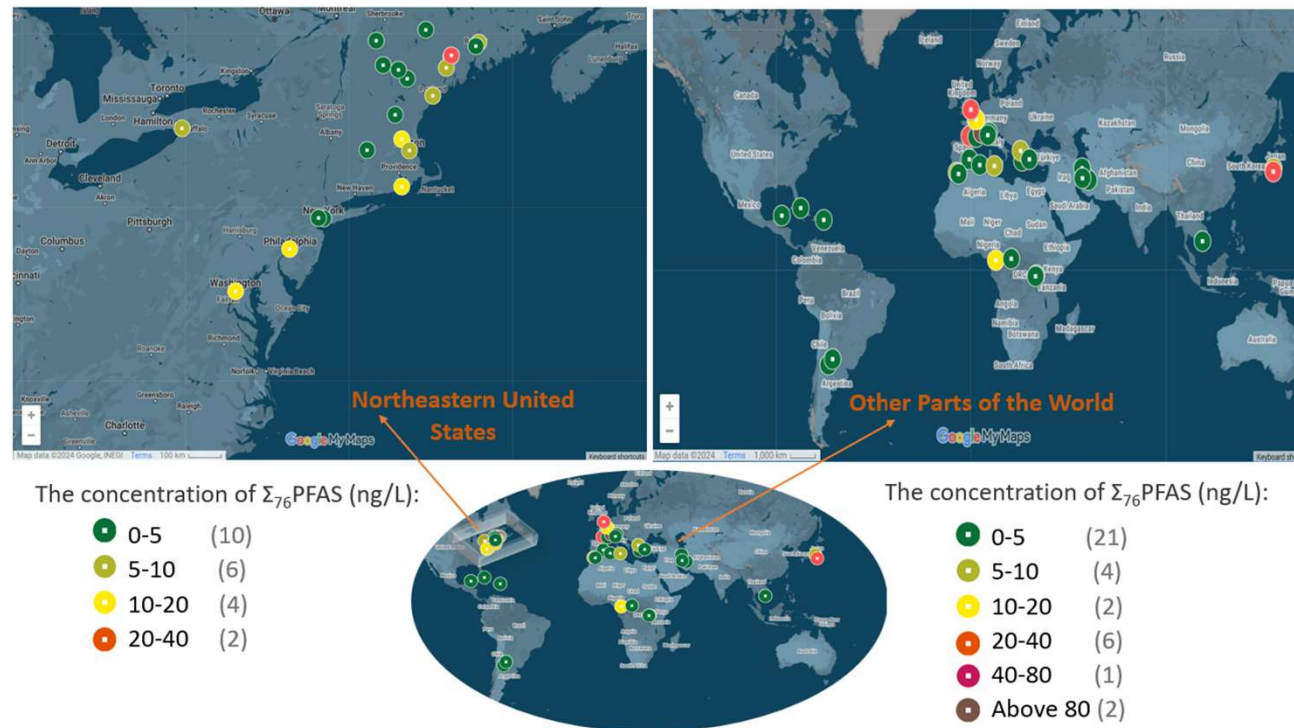


Teymoorian et al. 2025. Environmental International. 109250
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025000017



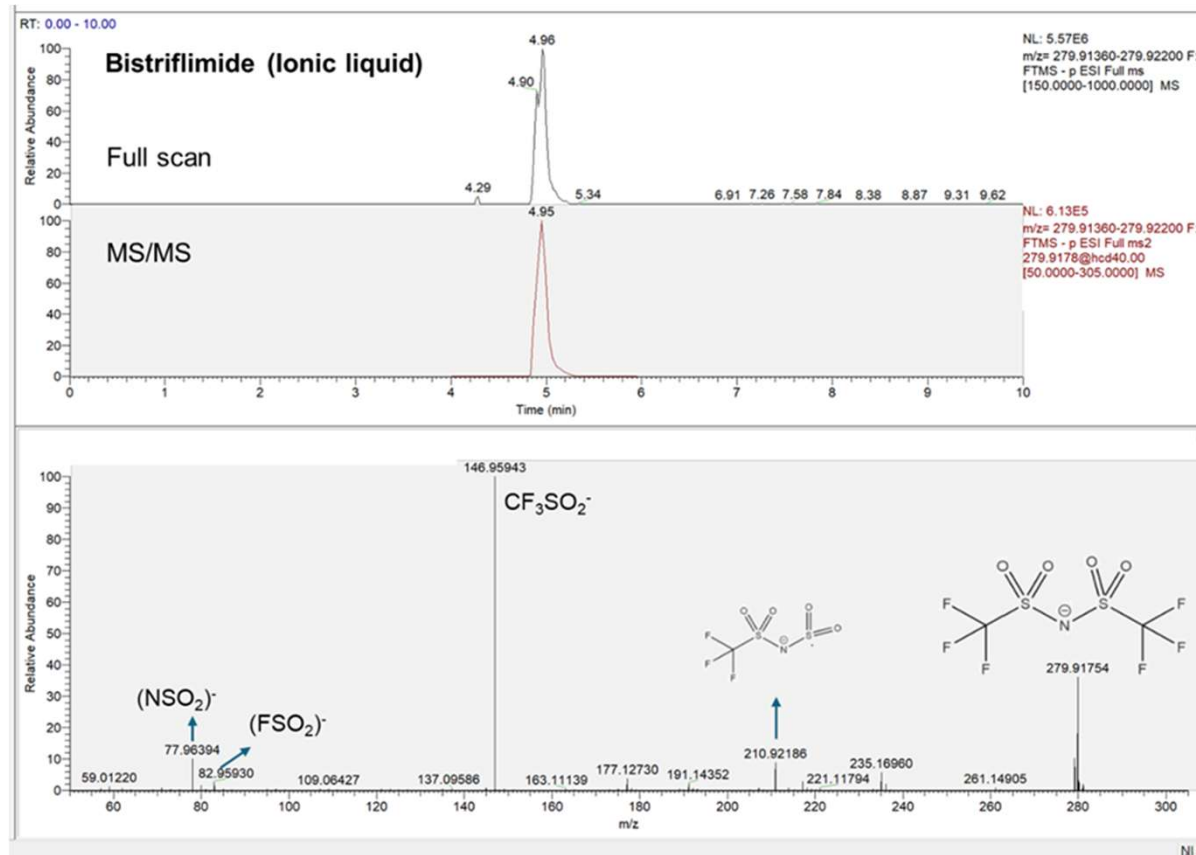
Teymoorian et al. 2025. Environmental International. 109250
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025000017

Eau Potable – Reste du monde



Teymoorian et al. 2025. Environmental International. 109250
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025000017

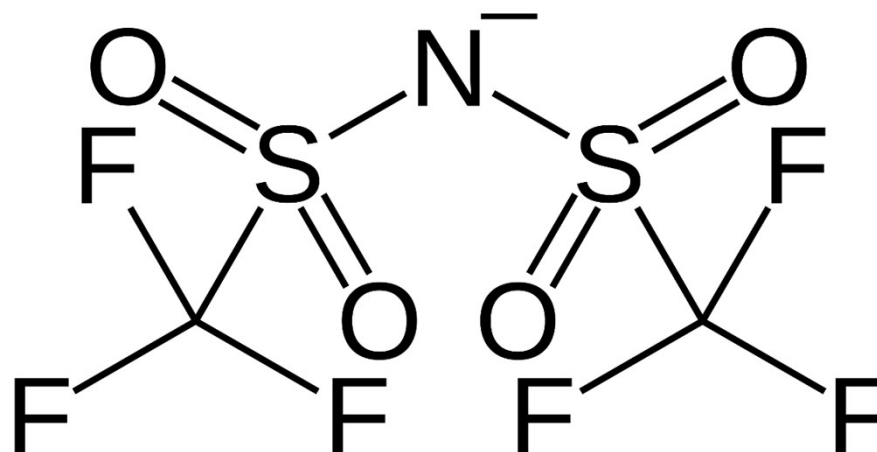
Nouvelle PFAS omniprésente associée aux liquides ioniques utilisés dans les batteries et les cristaux liquides



Teymoorian et al. 2025. Environmental International. 109250

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025000017

Bistriflimide



- Le bistriflimide, ou bistriflimide par anglicisme, abrégé TFSI ou NTf₂, est un anion non coordonnant de formule chimique [N(SO₂CF₃)₂]⁻.
- Cet anion intervient dans les liquides ioniques tels dans la mesure où il est plus stable et moins toxique que des contre-ions plus courants comme le tétrafluoroborate BF₄⁻. Il est également important dans les accumulateurs lithium-ion et les accumulateurs lithium-métal (en) — par exemple sous forme de LiTFSI, correspondant au sel Li⁺ [N(SO₂CF₃)₂]⁻.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bistriflimide>

Couverture des 76 PFAS analysées

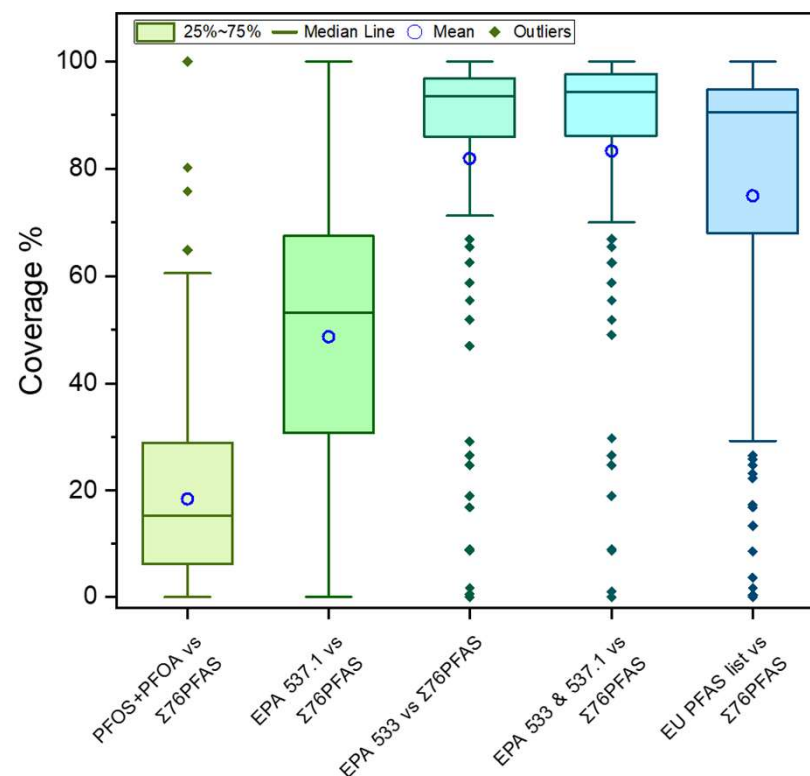
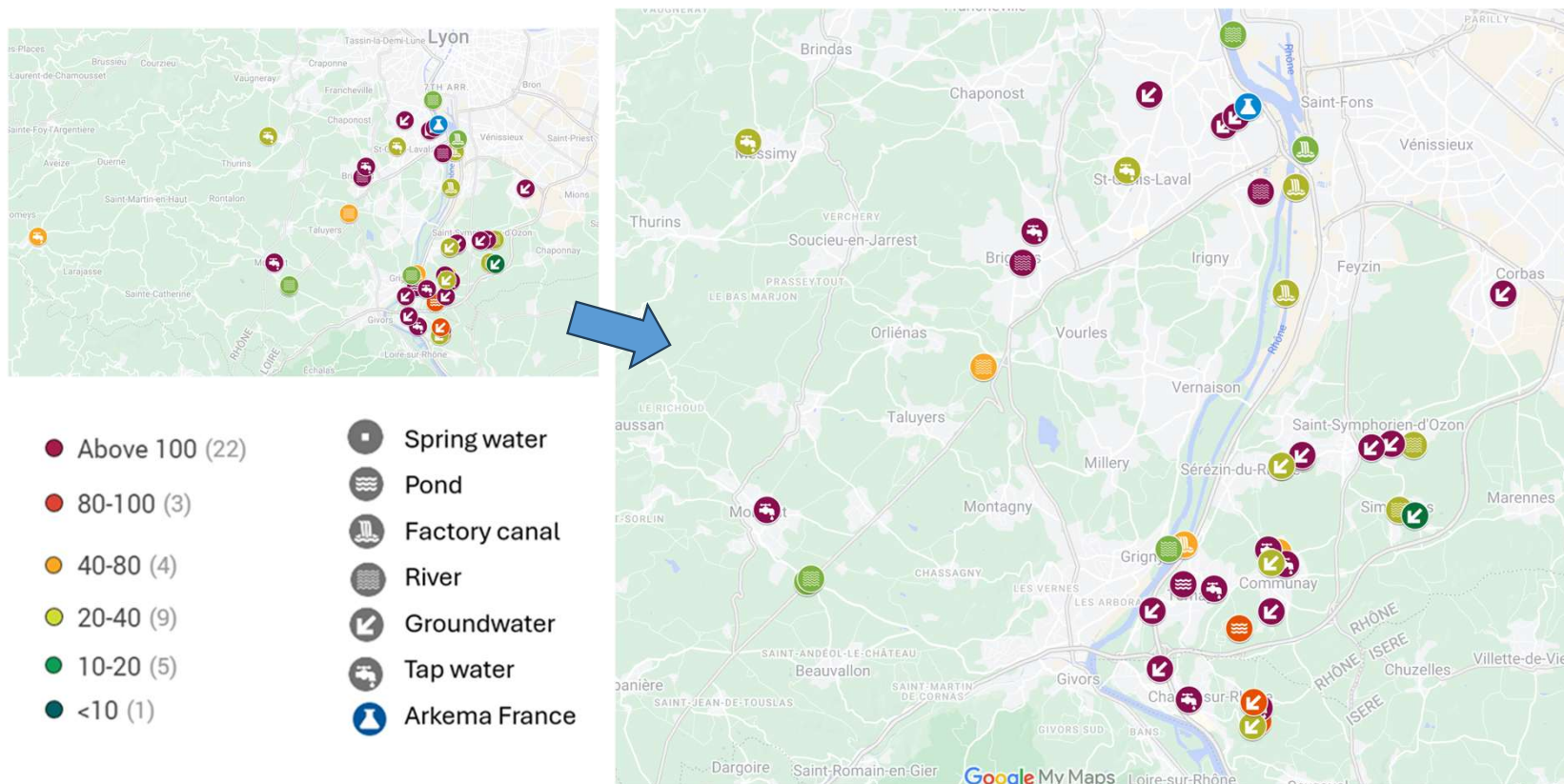


Figure 6. Boxplots showing the coverage percentages of the summed PFAS among the tap water samples in this study, when using different frameworks and guidelines in comparison to our 76 targeted PFAS list.

Teymoorian et al. 2025. Environmental International. 109250

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412025000017

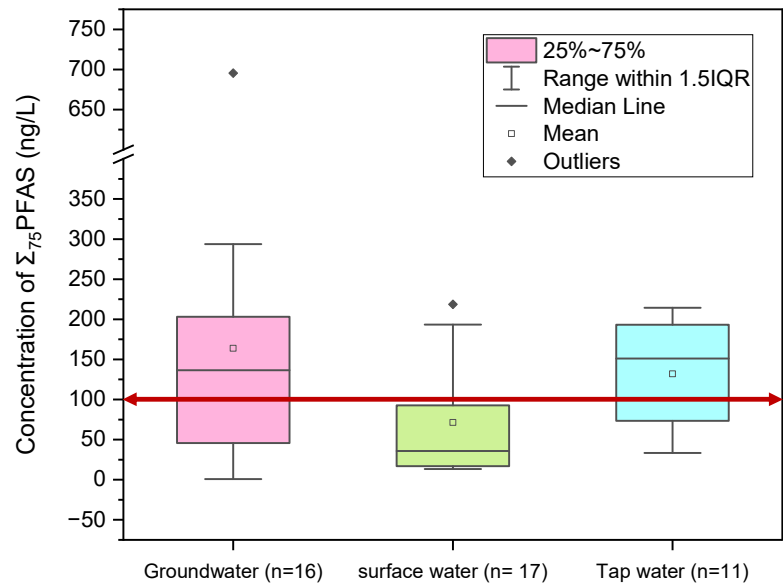
L'ensemble des échantillons d'eau autour de Lyon pour la $\Sigma 77$ PFAS (2023-2024)



Teymoorian et al. Soumis à ES&T Letters

Webinaire, CRESEB, 25/04/2025 – Sauvé S

Concentration de 77 PFAS dans l'eau de Lyon
(Échantillons collectés de février 2023 à
Janvier 2024)



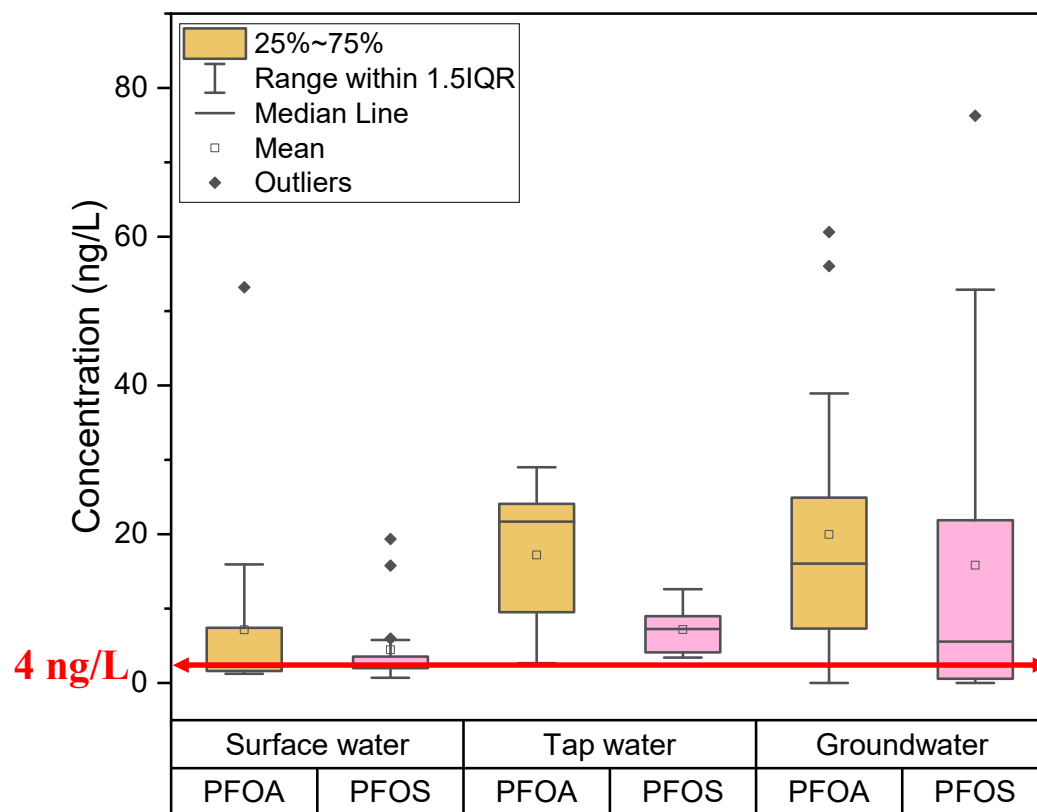
Seuil de PFAS dans l'eau potable
Union Européenne - France: 100 ng/L (ppt)
 Σ_{20} PFAS.

Maximum mesuré de 695 ng PFAS/L

Teymoorian et al. Soumis à ES&T Letters

Sample Code	Date	Type d'eau	Total Σ_{77} PFAS (ng/L)
PT1_2	11/10/2023	Étang	219
PC3_2	4/1/2024		88
PR1	11/04/2023	Canal usinier	64
PR2	11/4/2023		34
PR3	11/4/2023		36
PR4	11/4/2023		17
PSS2	28/02/2023	Rivière	144
PG1_2	22/10/2023		174
PR5	11/4/2023		15
PI1	10/03/2023		93
PI2	10/03/2023		42
PR6	15/04/2023		13
PMOU1_2	26/10/2023		193
PMO2_2	4/10/2023		14
PMO3_2	4/10/2023		17
PSI_1_2	25/10/2023		23
PTLU_1_2	25/10/2023		27
PC2	10/3/2023	Robinet	202
PCH5_2	1/11/2023		193
PMO1_2	22/10/2023		111
PSR1-2	11/10/2023		214
PBR1_2	21/10/2023		104
PC4_2	4/1/2024		170
PCH3_2	20/10/2023		151
PME1_2	22/10/2023		33
PSSC1_2	23/10/2023		73
PT2_2	23/10/2023		164
PSGL2_2	10/2023	Puits	34
PB1	25/02/2023		266
PB2	25/02/2023		149
PC1	28/02/2023		146
PCH1	10/03/2023		23
PSI1	10/03/2023		1
PSS1	28/2/2023		181
PT1	28/2/2023		127
PC2_2	10/10/2023		38
PCOR1_2	10/10/2023		183
PSGL1_2	14/10/2023	Souterraine	115
PSR2-2	11/10/2023		28
PSS1_2	10/10/2023		294
PCH2-2	9/10/2023		695
PCH1-2	28/09/2023		97
PSSO2_2	8/1/2023		223
PC1-2	9/10/2023		54

Concentrations de PFOS et PFOA dans l'eau autour de Lyon (n=44)

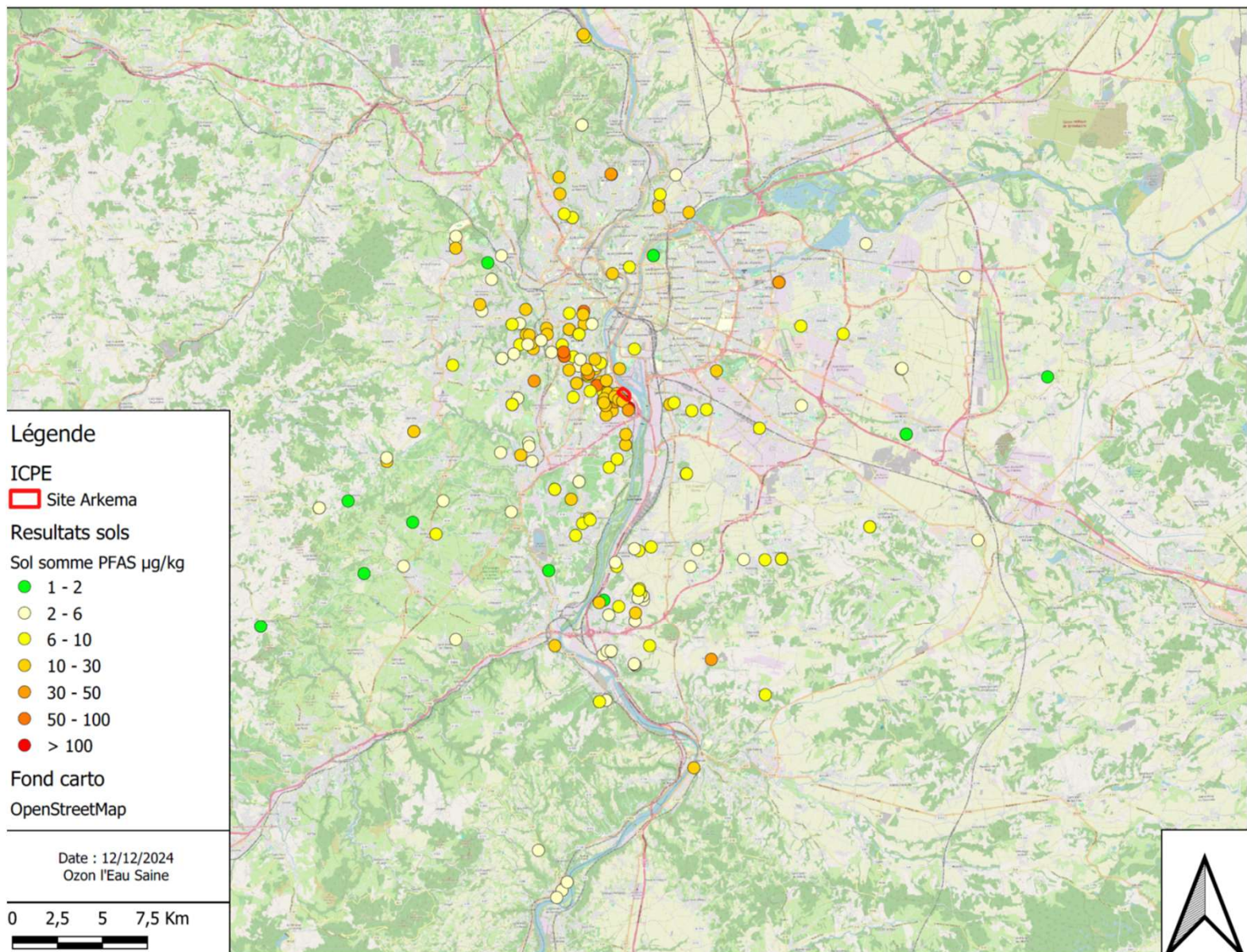


US EPA a établi un seuil maximal de **4 ng/L** (ppt) pour PFOA ou PFOS, individuellement.

La vaste majorité des échantillons ne serait pas considérée propre à la consommation aux USA.

Teymoorian et al. Soumis à ES&T Letters

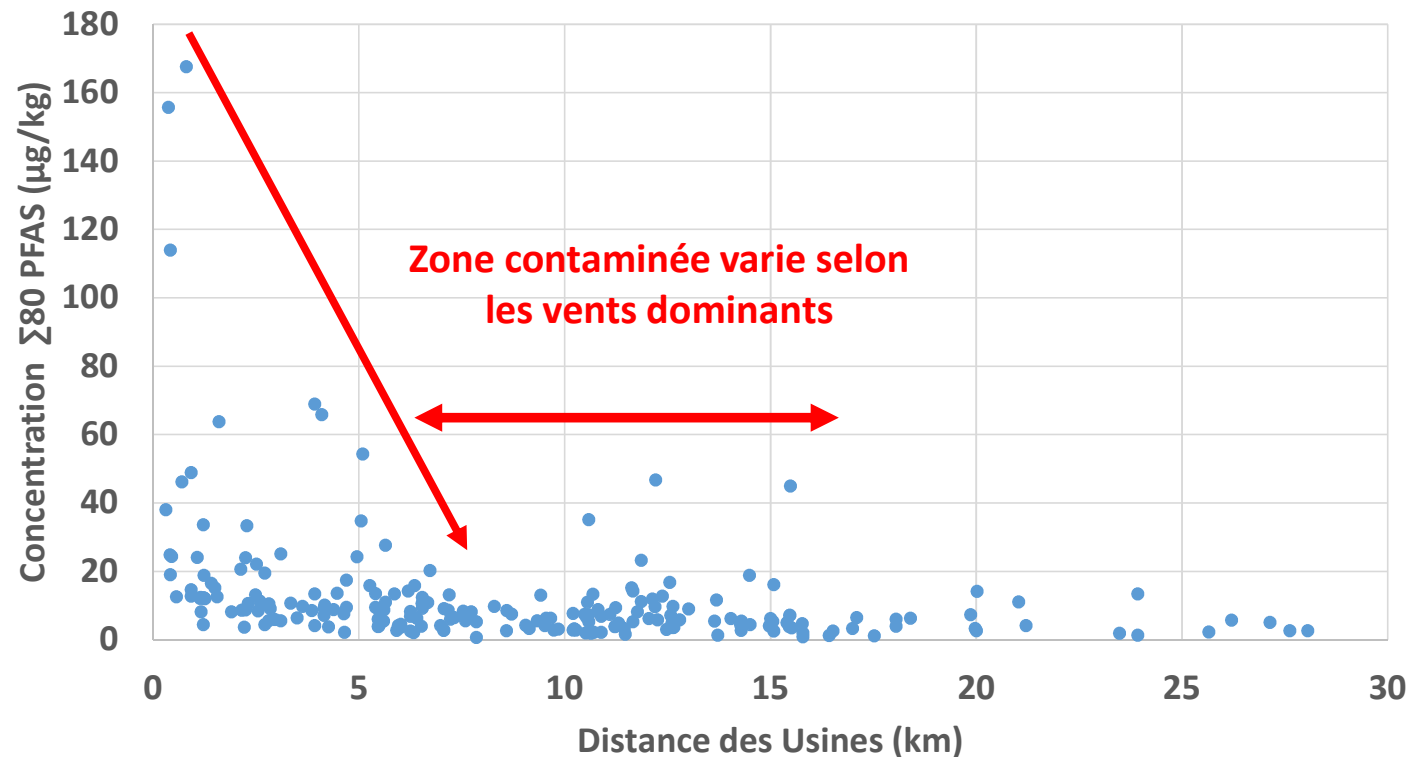
Résultats des analyses de sols pour la somme des 80 PFAS



Contamination des sols en surface

(contamination sur un rayon de 7 km, donne $\sim 150 \text{ km}^2$)

(contamination sur un rayon de 15 km, donne $\sim 700 \text{ km}^2$)



On pourrait aussi utiliser des PFAS plus spécifiques pour cet exercice (e.g. Surflon)

(Saliu et al. *En préparation*)

Résultats des analyses de sols pour la somme des 4 PFAS EFSA (PFOA, PFOS, PFNA et PFHxS)

EFSA – Autorité
Européenne de
Sécurité des Aliments

Légende

ICPE

Site Arkema

Résultats sols

Somme 4 PFAS EFSA $\mu\text{g/kg}$

0 - 1,5

1,5 - 5

5 - 10

10 - 20

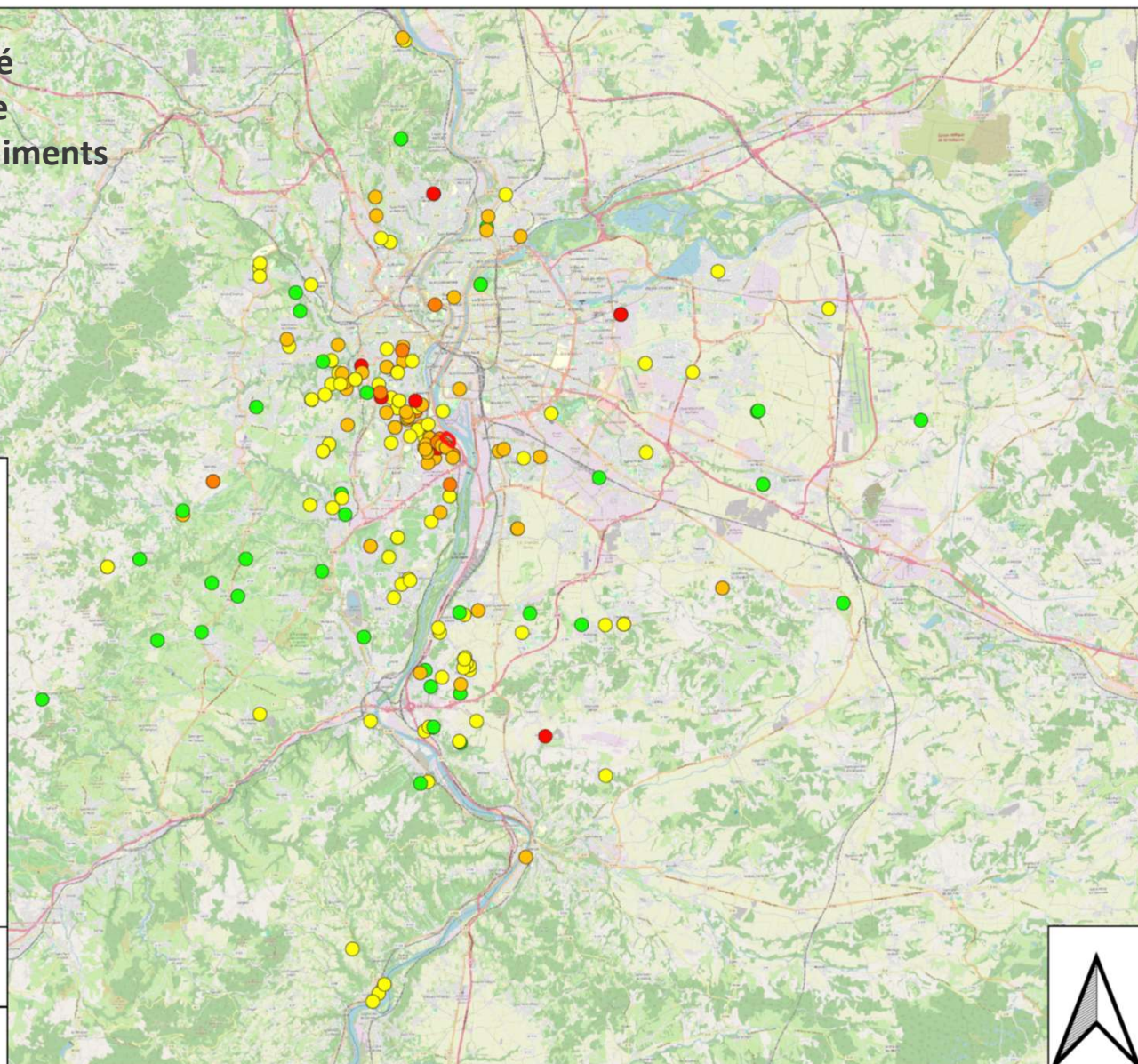
> 20

Fond carto

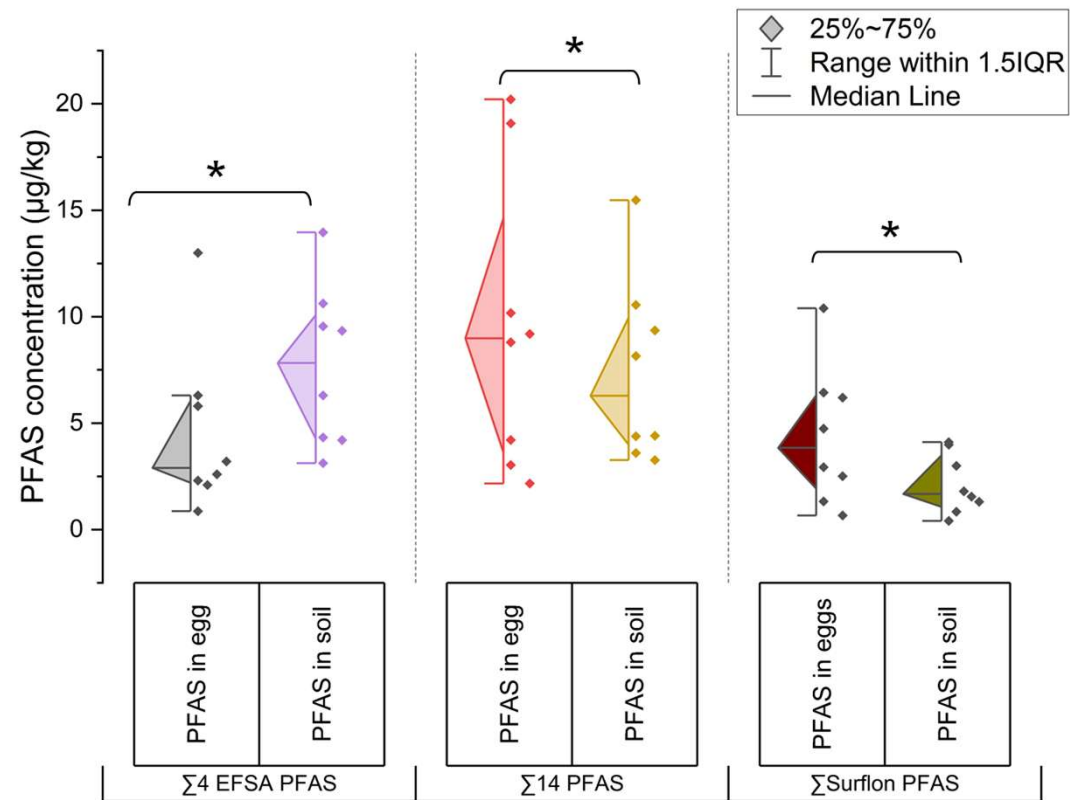
OpenStreetMap

Date : 12/12/2024
Ozon l'Eau Saine

0 2,5 5 7,5 Km

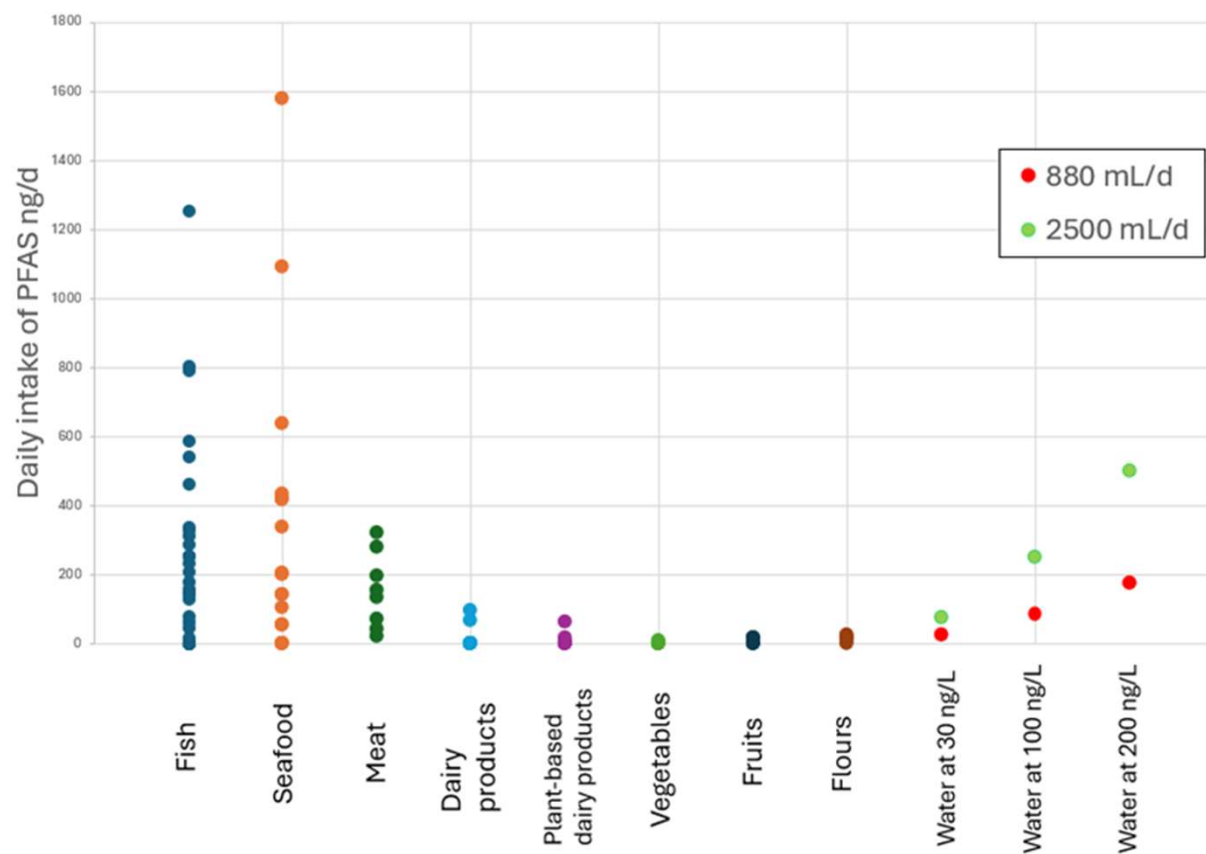


PFAS dans les œufs et dans les sols adjacents



(Saliu et al. *En préparation*)

PFAS dans la nourriture



Données préliminaires (Le Moing et al. 2024 – Labo Sauvé)

Merci!



sebastien.sauve@umontreal.ca





Nos prochains RDV

www.creseb.fr/les-webinaires-du-creseb

www.creseb.fr



Quoi de neuf ?

Abonnez-vous à notre Newsletter afin de rester informé sur l'avancée des travaux du Creseb et sur les parutions et actualités dans le domaine de l'eau.

RESTEZ CONNECTÉ

 twitter.com/Creseb_Bretagne
 CRESEB Vidéotheque



283 avenue du Général Patton
CS 21101 - 35711 RENNES Cedex 7

• Contact Cellule d'animation

Tél. : 02 99 27 11 62
Email : creseb@bretagne.bzh