



Les PFAS ou polluants éternels: situation actuelle

Alfred BERNARD

Professeur émérite UCLouvain

Directeur de recherches FNRS honoraire

Conférence organisée par l'Association Luxembourgeoise pour le Droit de l'Environnement (ALDE), Luxembourg, 24 avril 2025

Quelques concepts en toxicologie

Danger

≠

Risque

Capacités intrinsèques d'une substance ou d'un mélange de substances à induire des effets délétères (ex. cancer, perturbation du système endocrinien) dans des populations et des conditions d'exposition définies

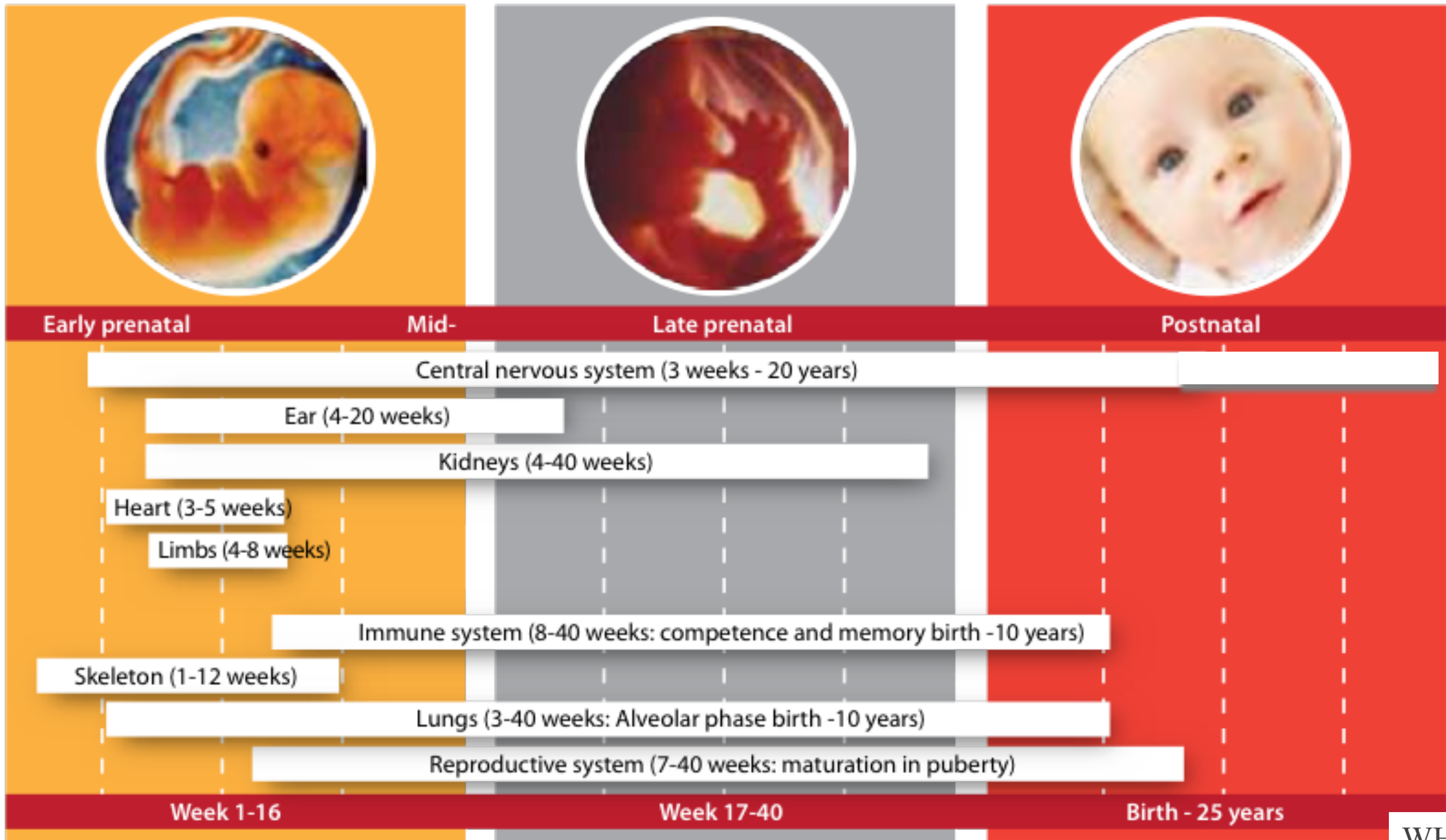
Probabilité que les effets délétères surviennent dans un contexte d'exposition particulier (contamination de l'alimentation, contamination de l'eau potable, lieu de résidence, exposition professionnelle ,...)

$$\text{Risque} = \text{danger} \times \text{exposition}$$

Principaux facteurs déterminant le risque :

1. L'intensité d'exposition (dose journalière, hebdomadaire, mensuelle)
2. La durée d'exposition (mois, années ou dizaines d'années)
3. L'âge (foetus, nourrissons, enfants, adolescents, adultes, seniors)

Développement et maturation des organes: fenêtres de grande vulnérabilité

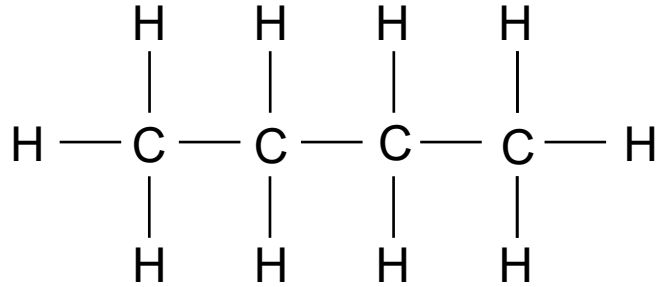


PFAS

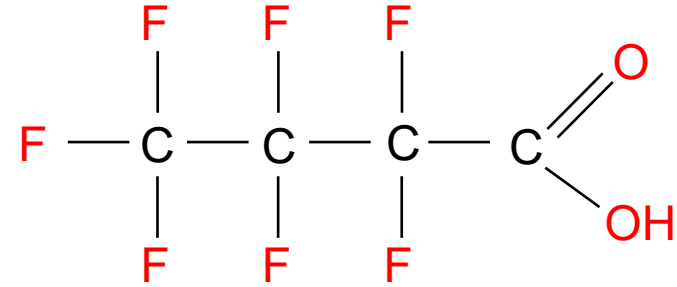
- . Per- and polyfluoroalkyl substances
- . Substances per- et polyfluoroalkylées

Substances dérivées des alcanes (C_nH_{2n+2}) dont plusieurs ou tous les atomes d'hydrogène ont été remplacés par des atomes de fluor.

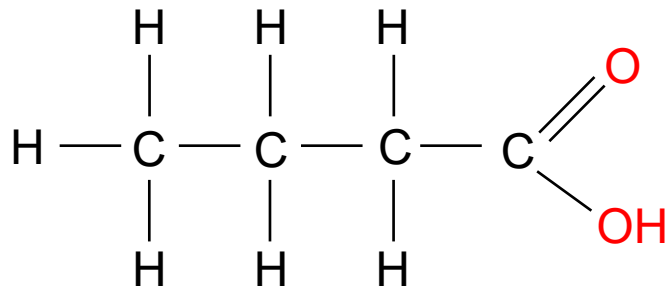
PFAS: substances per- et polyfluoroalkylées



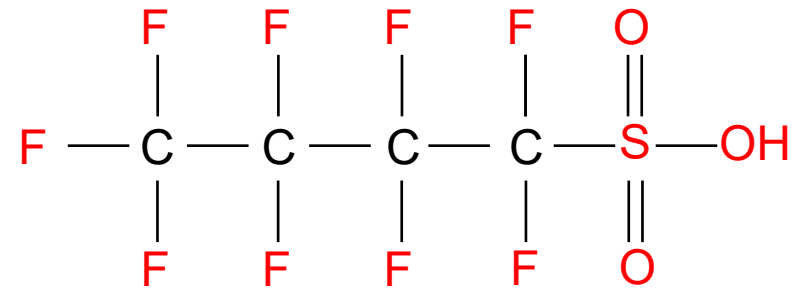
n-butane



PFBA (acide perfluorobutanoïque)

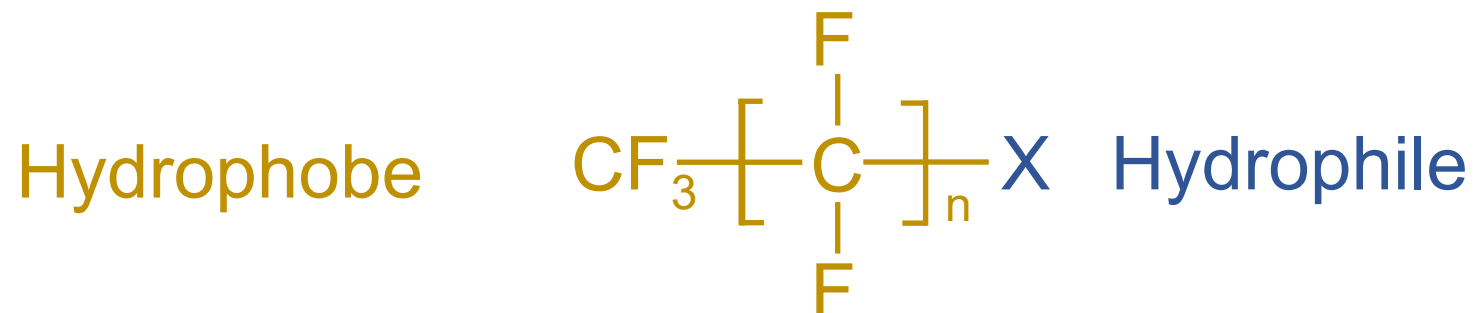


acide butyrique



PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)

Définition des PFAS selon l'Autorité Européenne de Sécurité de l'Alimentation (EFSA)



La chaîne alkyl hydrophobe peut comporter 4 à 16 carbones (C4 – C16) et être complètement (per) ou partiellement (poly) fluorée. Source: EFSA

L'extrémité hydrophile est habituellement constituée d'un groupe carboxylique (PFCAs) ou sulfonique (PFSAs)

La dose hebdomadaire tolérable (DHT) établie par l'EFSA est basée sur la somme de 4 PFAS à longue chaîne (PFOA + PFNA + PFHxS + PFOS)

Demi-vie¹ des PFAS linéaires en fonction de la longueur de la chaîne de carbones

PFAS	Nombre de carbones	Exemples	Demi-vie
PFAS à chaîne ultracourte	1-4	TFA, PFBA, PFPrA	heures-jours
PFAS à chaîne courte	> 4 et <8 (PFCAs) > 4 et <6 (PFSAs)	PFPeA, PFHxA, PFPeS	semaines-mois
PFAS à longue chaîne ²	≥8 (PFCAs) or ≥ 6 (PFSAs)	PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS	années

¹ Demi-vie : temps nécessaire pour que la concentration dans le sang diminue de 50%

² « Legacy PFAS » ou anciens PFAS

La définition des PFAS selon l'OCDE

Toute substance comportant au moins un groupe perfluoré méthyl ($-\text{CF}_3$) ou méthylène ($=\text{CF}_2$) est un PFAS.

- Une définition basée sur la force et la résistance de la liaison C - F
- > 4000 substances répondent à cette définition

▼ PFAS and Fluorinated Compounds in PubChem ? ↗ 21,411,380

▼ OECD PFAS definition ? ↗ 6,540,217

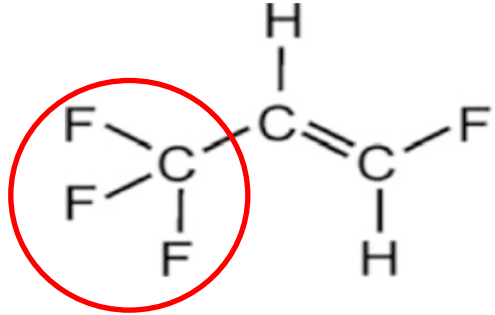
> 7 million
“OECD PFAS”
in PubChem



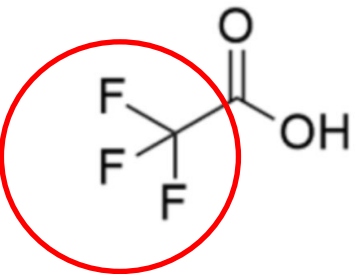
▶ PFAS breakdowns by chemistry ? 7,497,577

▶ Regulatory PFAS collections ? 26,943

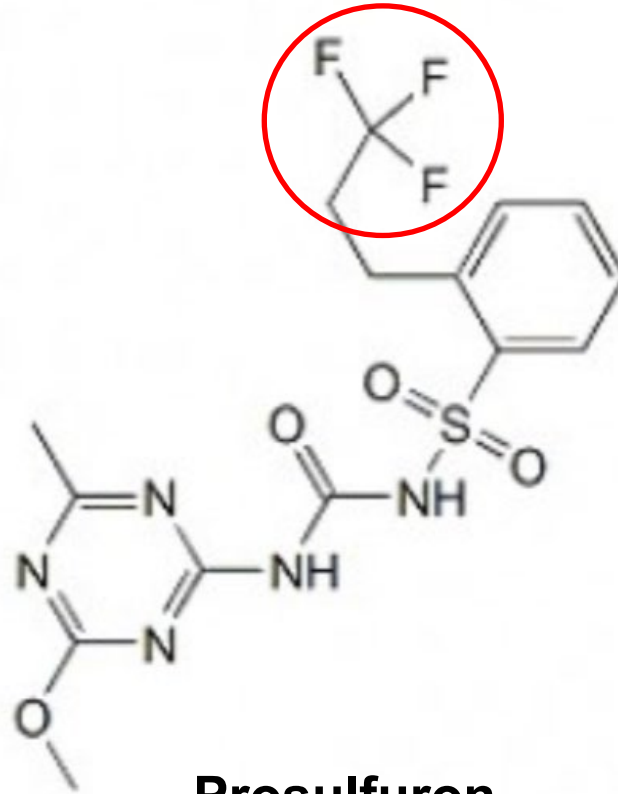
Exemples de PFAS selon la définition de l'OCDE



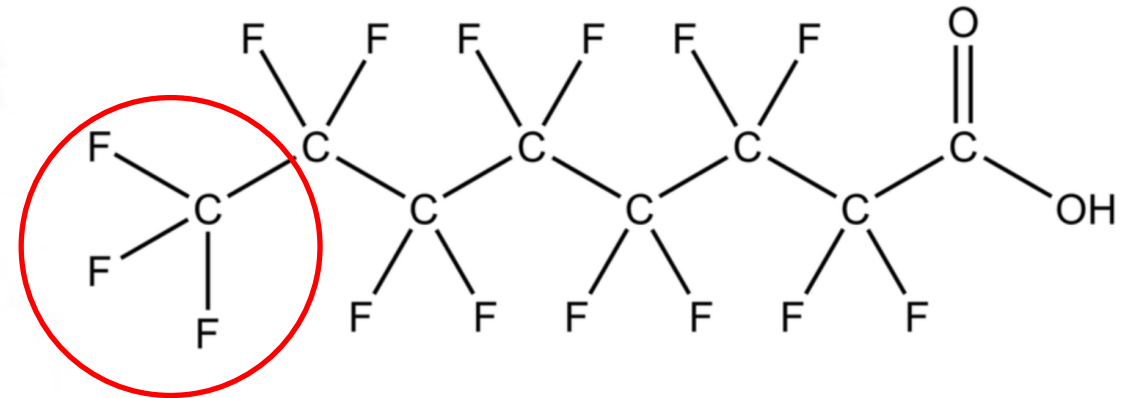
HFO-1234ze



Trifluoroacetic acid (TFA)



Prosulfuron



Perfluorooctanoic acid (PFOA)

Acide trifluoroacétique (TFA)

- . Demi-vie (**heures**)¹ : $16^2 - 42^3$
- . DJT : **40.000** ng/kg p.c. (ECHA)
- . Marge de sécurité: **200**
- . $\text{Log } P_{O/W} = -2.1$

PFAS à longue chaîne « Legacy PFAS » (PFOA + PFOS + PFHS + PFNA)

- . Demi-vie (**années**)¹ : 1,2 à 25 (EFSA)
- . DJT Σ 4 PFAS : **0,6** ng/kg p.c. (EFSA)
- . Marge de sécurité : **aucune**
- . $\text{Log } P_{O/W} = \text{PFOA, } 6.3; \text{PFHxS, } 5.7; \text{PFNA, } 7,27$

Demi-vie : temps nécessaire pour que la concentration dans le sang diminue de 50%

DJT : dose journalière tolérable

¹ Cycle circulation; ² Homme, Boutonnet et al., 2011; ³homme, Wark et al., 1990



L'usine Solvay, à Salindres dans le Gard. © Henri Frisque

Société

« Polluants éternels » à Salindres : faut-il vraiment s'alarmer ?

L'association Générations futures dénonce un « taux record » de polluants éternels autour du site de l'usine Salvay à Salindres, dans le Gard. Mais de quoi parle-t-on, au juste ?

Par Henri Frisque

Publié le 10/02/2024 à 17h00

très utilisés dans l'industrie, et qualifiés de « polluants éternels » ? Interrogé, le toxicologue belge Alfred Bernard, spécialiste des PFAS, estime qu'il y a une « confusion » : « Sur le plan chimique, le TFA fait bien partie de la même famille que les PFAS. Mais il est composé de deux atomes de carbone, et non quatre. Sur le plan toxicologique, on est dans un autre monde : il est 20 000 fois moins toxique. »

niveau urinaire, et au niveau de la bile ». Elles sont néanmoins « extrêmement résistantes », et solubles dans l'eau, on les retrouve « dans les nappes

phréatiques, dans les mers et les océans ». L'universitaire regrette que les chiffres de l'étude « aient été artificiellement gonflés d'un facteur 1 000 », pour les TFA, « en exprimant leur concentration en nanogrammes par litre, ce qui n'est pas correct ».

Deux propriétés importantes des PFAS

- . Une extrême stabilité conférée par la liaison carbone-fluor
 - Très résistants aux hautes températures
 - Non biodégradables et non métabolisables, les PFAS sont appelés « for-ever chemicals » ou substances chimiques éternelles
- . Amphiphiles: solubles dans les graisses et dans l'eau
 - Contaminent tous les milieux et tous les êtres vivants
 - Se retrouvent dans l'eau potable et tous les aliments
 - Bien absorbés par ingestion, les PFAS s'accumulent dans le corps et franchissent les barrières placentaire et hémato-encéphalique et ils passent dans le lait maternel (mêmes transporteurs que l'acide folique)

Sources de pollution par les PFAS

Sites de fabrication des PFAS

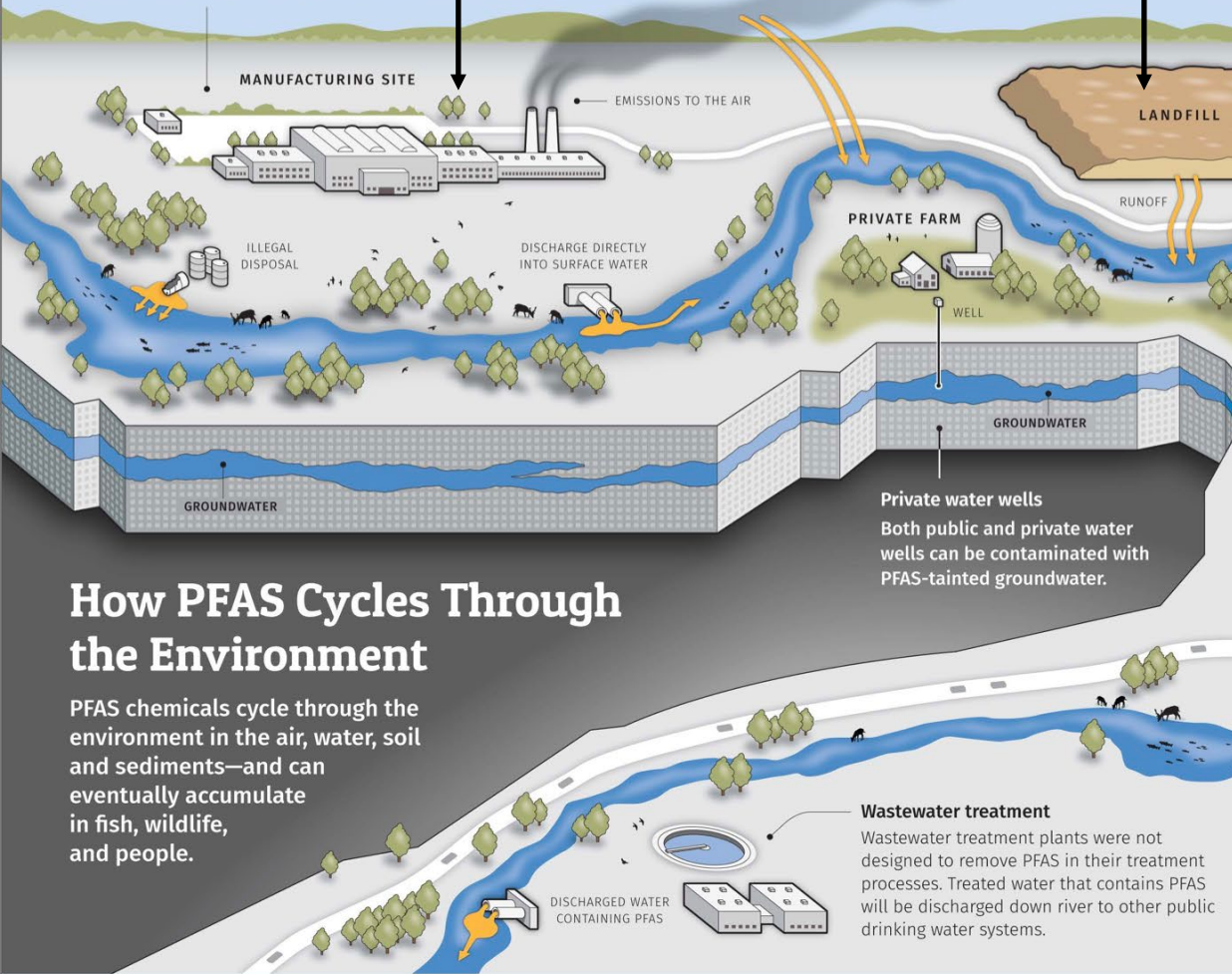
Décharges (CET)

Boues des STEP

Aéroports et bases militaires

PFAS contamination at manufacturing sites

Primary sources of PFAS contamination include manufacturing sites that produce PFASs or use PFASs in industrial processes and release the chemicals into the environment through wastewater discharges into surface water or municipal sewer systems, on-site or illegal disposal that can leach into groundwater or surface water, and emissions to the air that can deposit in waterways.



How PFAS Cycles Through the Environment

PFAS chemicals cycle through the environment in the air, water, soil and sediments—and can eventually accumulate in fish, wildlife, and people.

LANDFILL

Landfill disposal

Disposal of PFAS-containing products in landfills can leach into groundwater or travel via runoff into surface water.

RUNOFF

Spread on farms

Sludge byproducts from wastewater treatment plants – called biosolids – can contain PFAS and are often spread on farm fields or sod farms as fertilizer, which can lead to groundwater and surface water contamination.

PFAS in foam

Products such as firefighting foams used at airports, military bases, and other facilities can be transported to surface or groundwater.

FARM FIELD

SOD FARM

AIRPORT

PUBLIC DRINKING WATER SYSTEM

WATER INTAKE FROM SURFACE OR GROUNDWATER

TREATED WATER FOR PUBLIC USE

Public drinking water system

PFAS in ground water and surface water can pollute drinking water supplies, because utilities were not designed to remove the chemical.

WASTE TO TREATMENT PLANT

NEIGHBORHOOD

CITY

WASTE TO TREATMENT PLANT

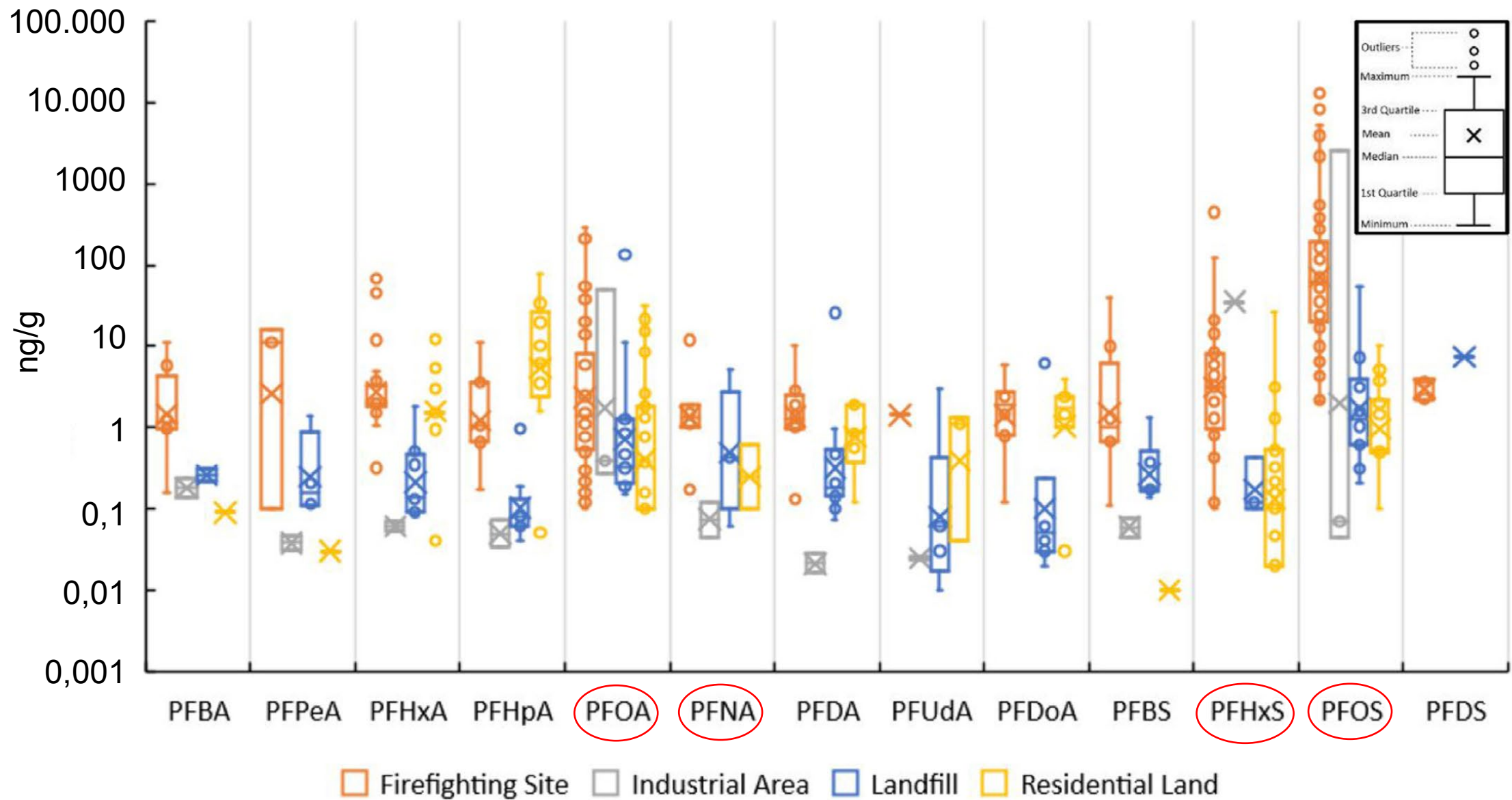
WATER TO NEIGHBORHOOD

WATER TO CITY

DRAWING NOT TO SCALE

GRAPHIC: DAVID PUCKETT FOR THE NATIONAL WILDLIFE FEDERATION

Concentrations des PFAS dans le sol en différents sites



Métabolisme des PFAS

Voies d'exposition de la population générale aux PFAS

1. Ingestion (> 90%)

- . Eau

- . Aliments

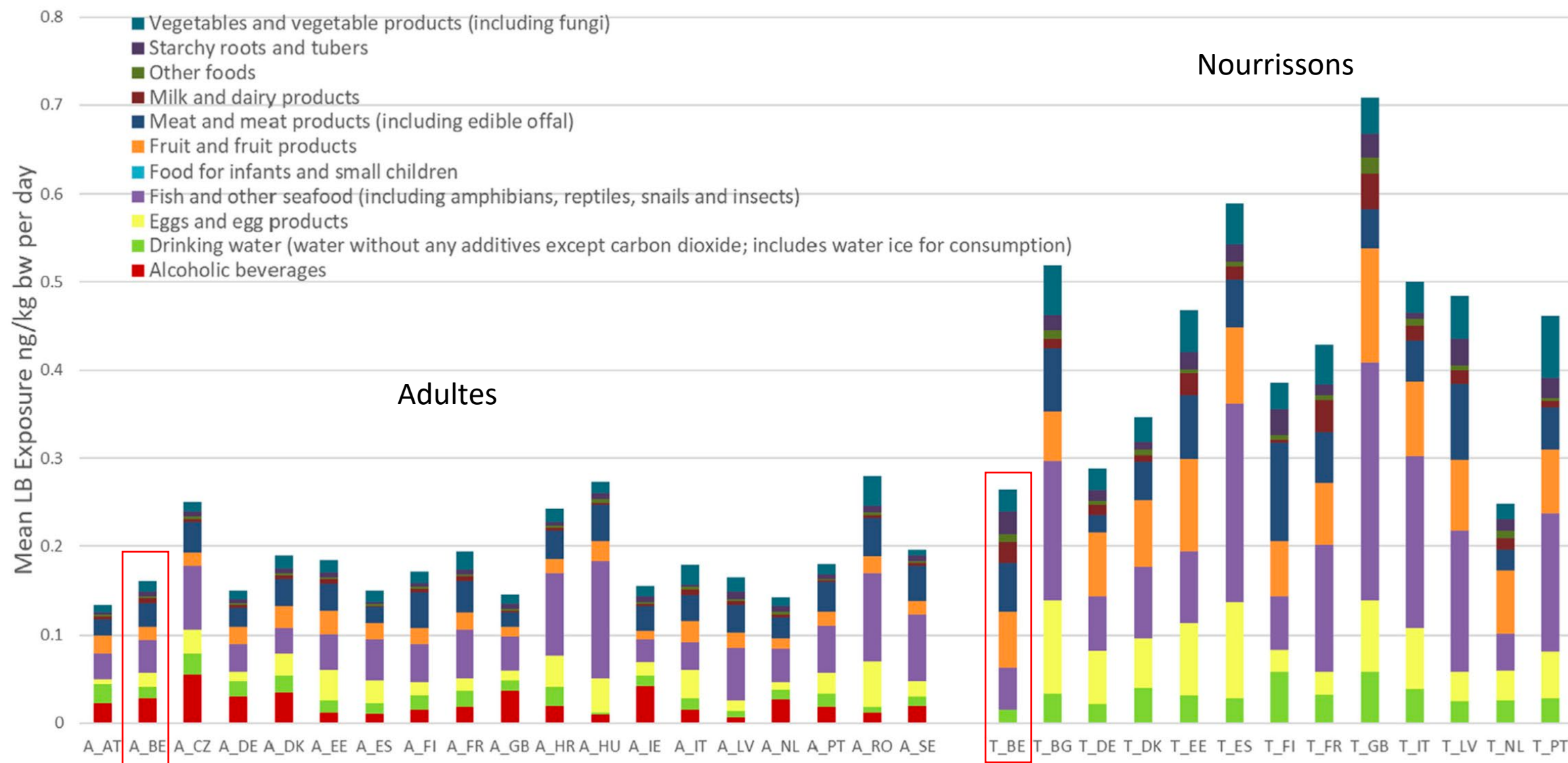
- . Poussière (pica, nourrissons)

2. Contact cutané (maximum qqs %)

3. Inhalation (<1%)

- . Un nourrisson de 6 mois allaité au biberon consomme par kilo de poids corporel **5 fois plus d'eau** qu'un adulte.
- . Après l'allaitement, un nourrisson consomme par kilo de poids corporel **2 à 3 fois plus d'aliments** qu'un adulte.

Dose journalière de PFOA ingérée dans l'UE (ng/kg)

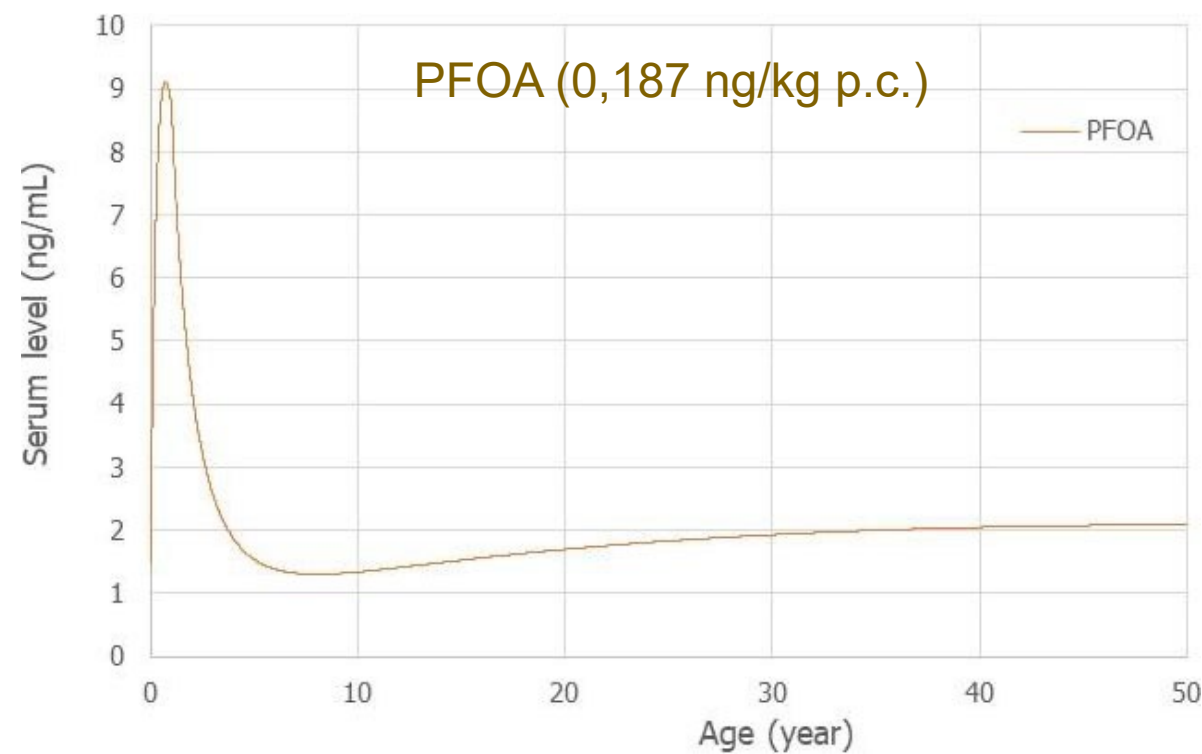
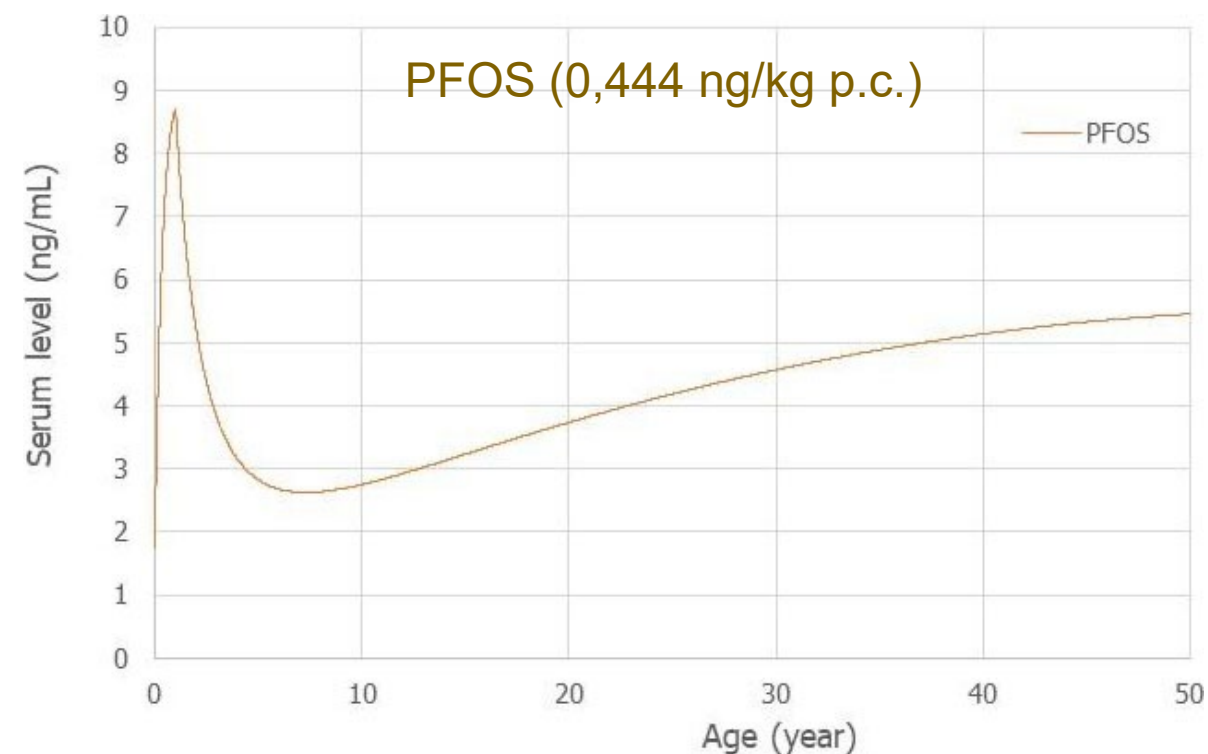


Source: Efsa 2020

Dose journalière de PFOA ingérée en Belgique (ng/kg)



Concentrations de PFOS et PFOA dans le sérum d'une femme exposée *in utero*, allaitée au sein pendant 9 mois et exposée à une dose journalière de 0,444 ng/kg (PFOS) et de 0,187 ng/kg (PFOA)



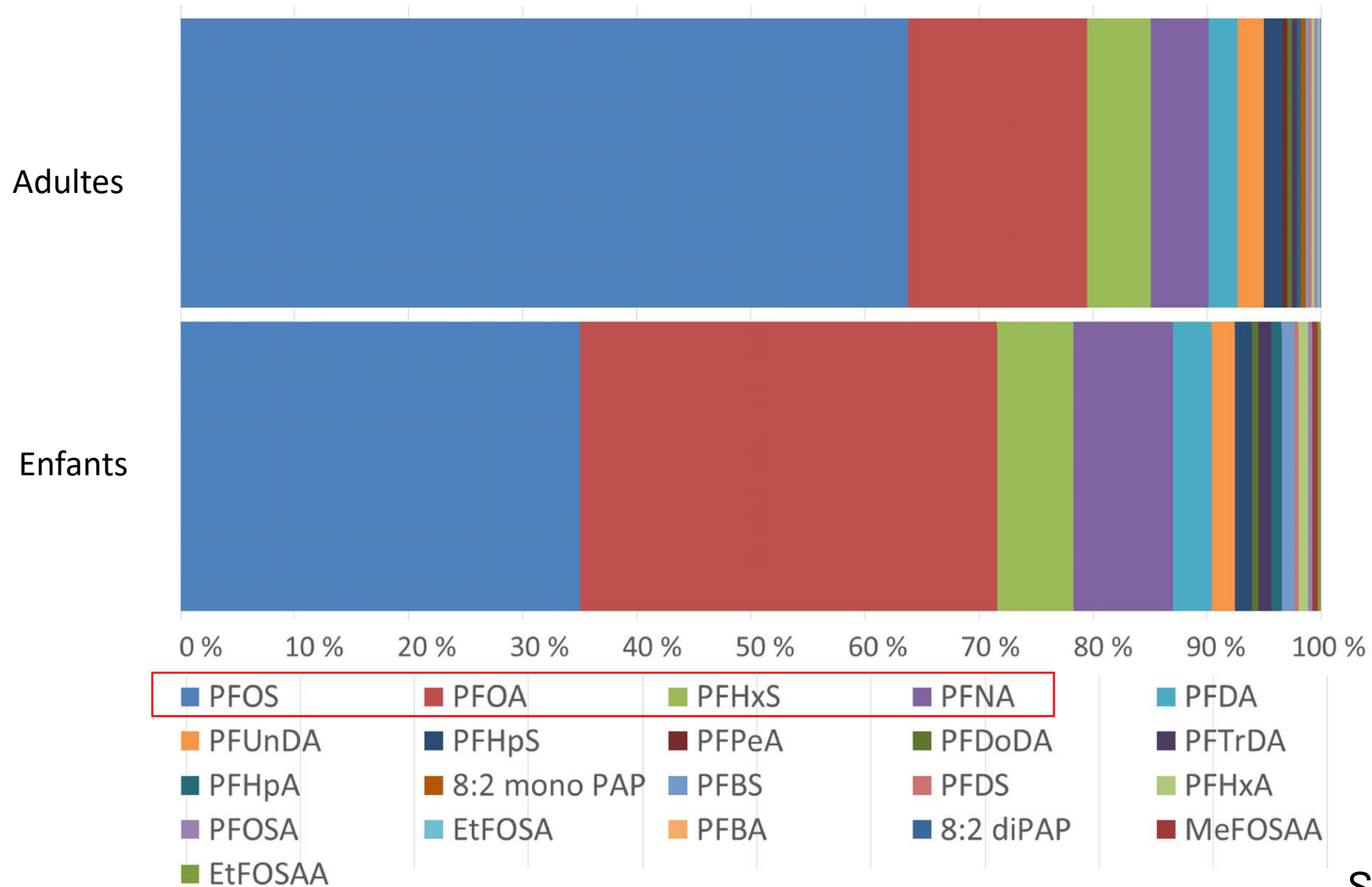
Source: EFSA 2020

Demi-vie des congénères de PFAS

Congénère	Nombre de carbone	Demi-vie (années)
PFBA	4	0,007
PFBS	4	0,08
PFHxA	6	0,09
PFHxS	6	4,7 - 25
PFHpA	7	0,82 - 1,0
PFOA	8	1,7 - 8,5
PFOS	8	1,9 - 18
PFNA	9	1,2 - 3,2
PFDA	10	4,0 - 7,1
PFUnDA	11	4,0 - 7,4

Demi-vie allongée par un important cycle entéro-hépatique !

Proportions de PFAS dans le plasma/sérum humain



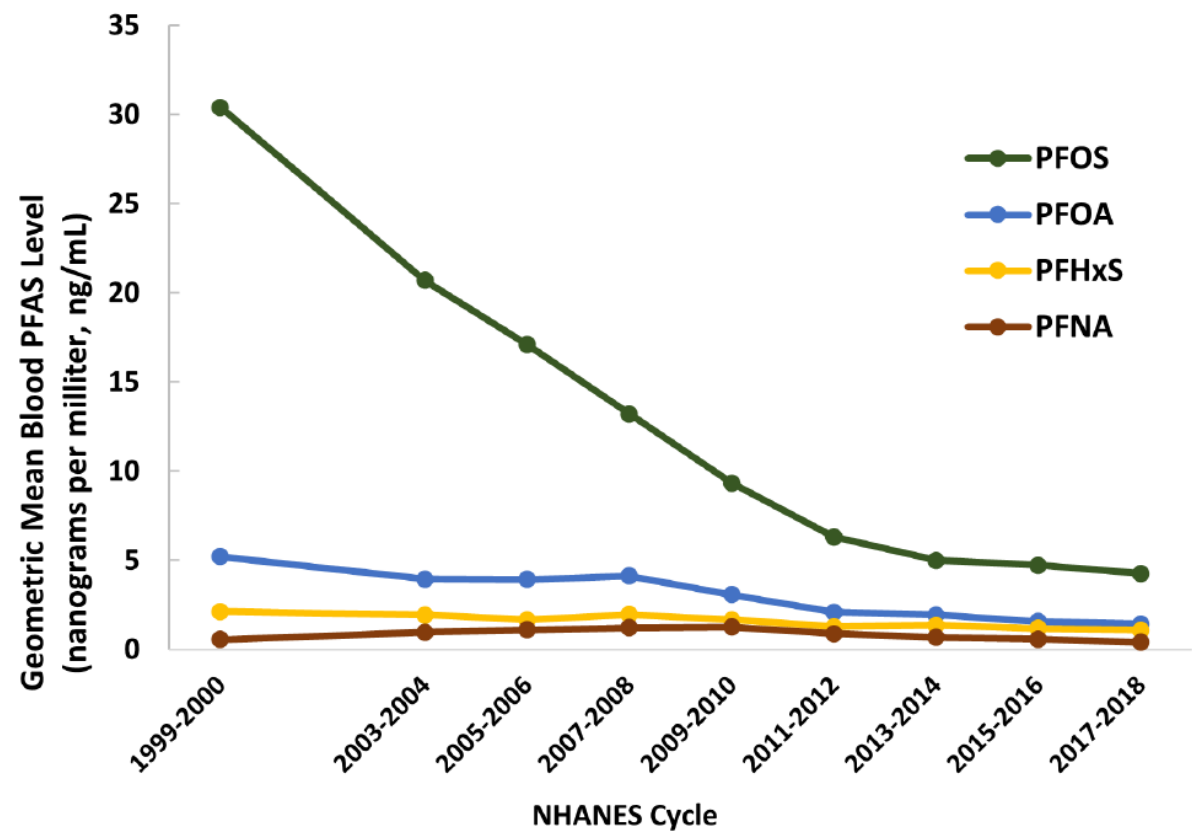
Source: Efsa 2020

Concentrations moyennes des PFAS dans le sérum/plasma (UE)

Congénère	N carbone	Sérum/plasma (ng/ml)	
		Adulte	Enfant
PFOS	8	7,70	3,20
PFOA	8	1,90	3,30
PFHxS	6	0,67	0,60
PFNA	9	0,61	0,79
PFDA	10	0,30	0,30
PFUnDA	11	0,28	< 0,25

Evolution temporelle de la charge corporelle des « Legacy » PFAS (plasma) aux USA et dans l'UE (Danemark)

USA



Source : U.S. EPA

Danemark

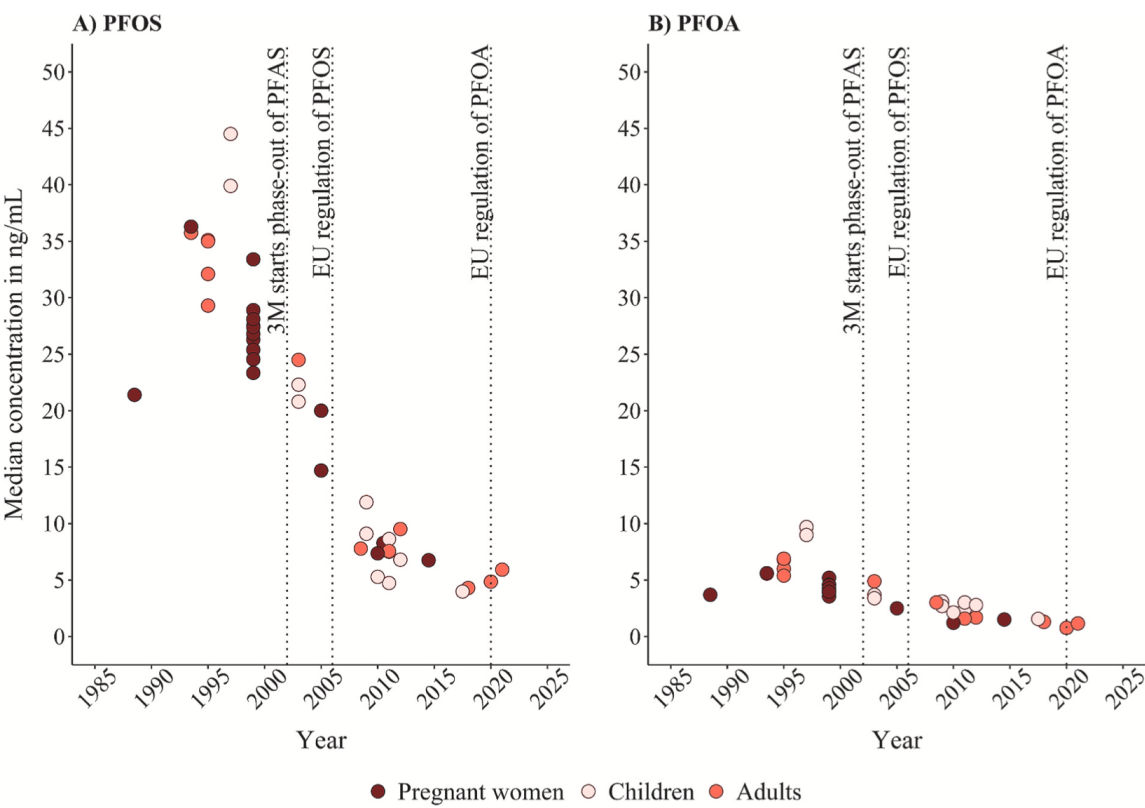


Fig. 1. Median concentration of PFOS and PFOA in ng/mL measured in the Danish population, 1988–2021.

Source : Hull et al. 2023

Effets toxiques des PFAS

Deux importants concepts dans l'évaluation des dangers et risques des hydrocarbures halogénés

- . Les dangers et les risques liés aux hydrocarbures halogénés, y compris les PFAS, sont largement déterminés par leurs propriétés cumulatives et donc par la **charge corporelle**.
- . Le potentiel toxique des congénères d'hydrocarbures halogénés varie en fonction du nombre et/ou de la position des atomes de carbone et d'halogènes, d'où l'importance d'un ajustement sur la base de **facteurs de potentiel ou d'équivalence toxique**.

Relative potency factors of PFAS (Bil et al., 2023)

Internal relative potency factors (RPFs) for absolute and relative thymus weight, absolute spleen weight, globulin concentration and relative liver weight based on time-weighted average (TWA) serum concentrations after 28-day repeated-dose exposure to eight per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in male rats ([Butenhoff et al., 2012](#); [Haas et al., 2008](#); [NTP, 2019a](#); [NTP, 2019b](#)).

Substance	Abs. thymus	Rel. thymus	Abs. spleen	Globulin	Rel. liver
PFBA	–	–	–	–	1
PFHxA	6	7	NR	0.9	6
PFOA	1	1	1	1	1
PFNA	6	7	6	1	4
PFDA	6	NR	12	2	7
PFBS	2	2	0.7	0.1	2
PFHxS	0.5	0.7	0.3	0.03	0.6
PFOS	4	4	2	0.2	5
HFPO-DA	NR	NR	NR	1	25

Note: –, data not available; HFPO-DA, hexafluoropropylene oxide-dimer acid; NR, no significant trend in the dose–response analysis; PFBA, perfluorobutanoic acid; PFBS, perfluorobutane sulfonic acid; PFDA, perfluorodecanoic acid; PFHxA, perfluorohexanoic acid; PFHxS, perfluorohexane sulfonic acid; PFNA, perfluorononanoic acid; PFOA, perfluorooctanoic acid; PFOS, perfluorooctane sulfonic acid. PFOA was set as the index compound, and was therefore assigned an internal RPF value of 1.

Effets sanitaires associés aux PFAS

. Exposition péri-natale

- . Diminution de la réponse immunitaire (vaccination)
- . Baisse du poids à la naissance (50-100 g)
- . Développement insuffisant de la glande mammaire

. Exposition postnatale – 18 ans

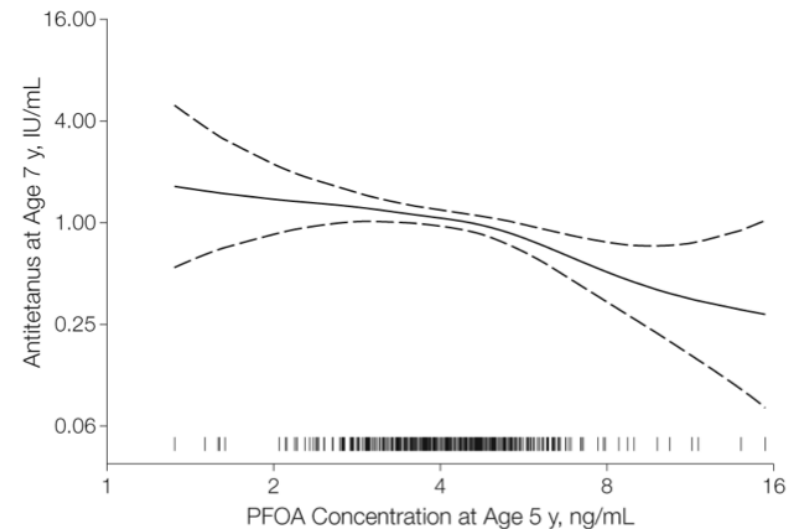
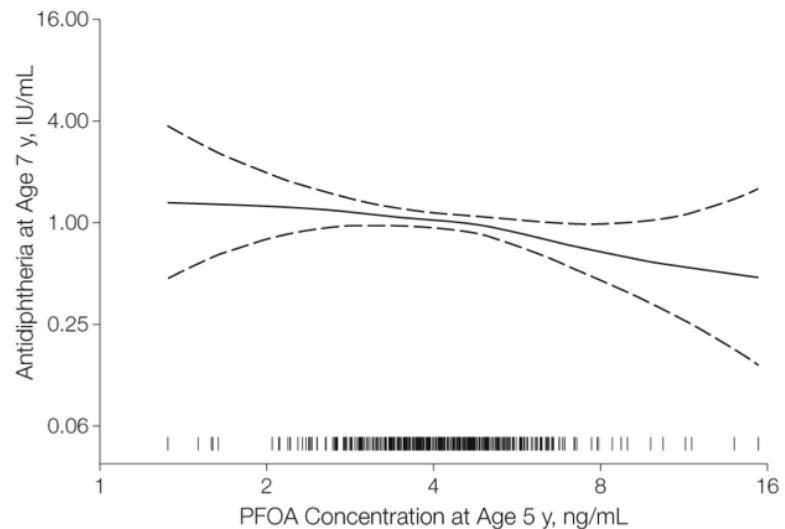
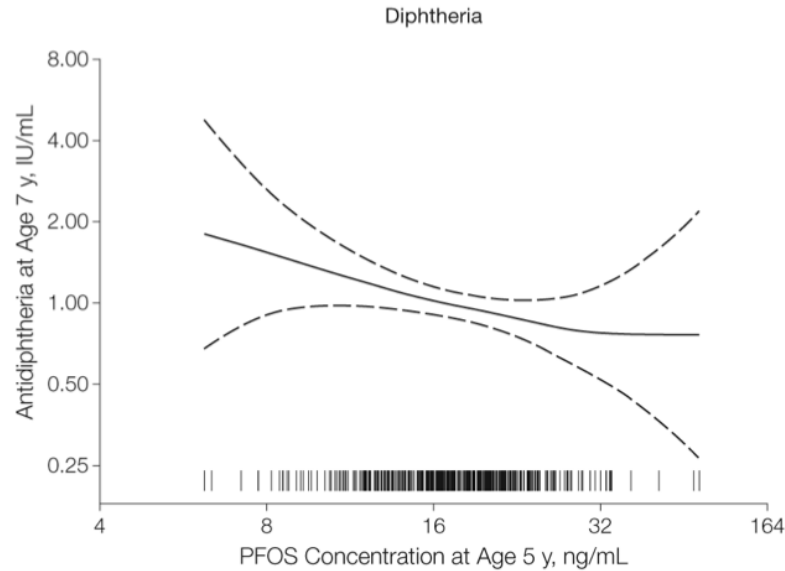
- . Perturbations dans la synthèse des hormones thyroïdiennes et des hormones contrôlant le développement du système reproducteur de l'homme et de la femme

. Exposition chez l'adulte

- . Augmentation du cholestérol
- . Cancers du rein et du testicule
 - . Les PFAS ne sont pas des génotoxiques directs (mécanismes épigénétiques et immunosuppresseurs)
 - . Corollaire: existence probable d'un seuil de risque (charge corporelle critique)

En rouge: effets critiques

Associations entre les concentrations sériques du PFOS et PFOA à l'âge de 5 ans et celles des anticorps contre la diphtérie et le tétanos à l'âge de 7 ans



Grandjean et al. 2018

Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid

In November, 2023, a Working Group of 30 scientists from 11 countries met at the International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon, for stain, oil, and water resistance on household products, carpets, textiles, and food packaging; personal care products; seals; coatings for They are excreted in urine and faeces with half-lives on the order of several years in humans, or in the range of hours to months in experimental

[Lancet Oncol 2023](#)

Published **Online**

November 30, 2023

[https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00622-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00622-8)

PFOA

Groupe 1: cancérogène pour l'homme

- . Animal : preuves suffisantes
- . Homme : **preuves limitées**
- . Fortes preuves mécanistiques (immunosuppresseur, action épigénétique)

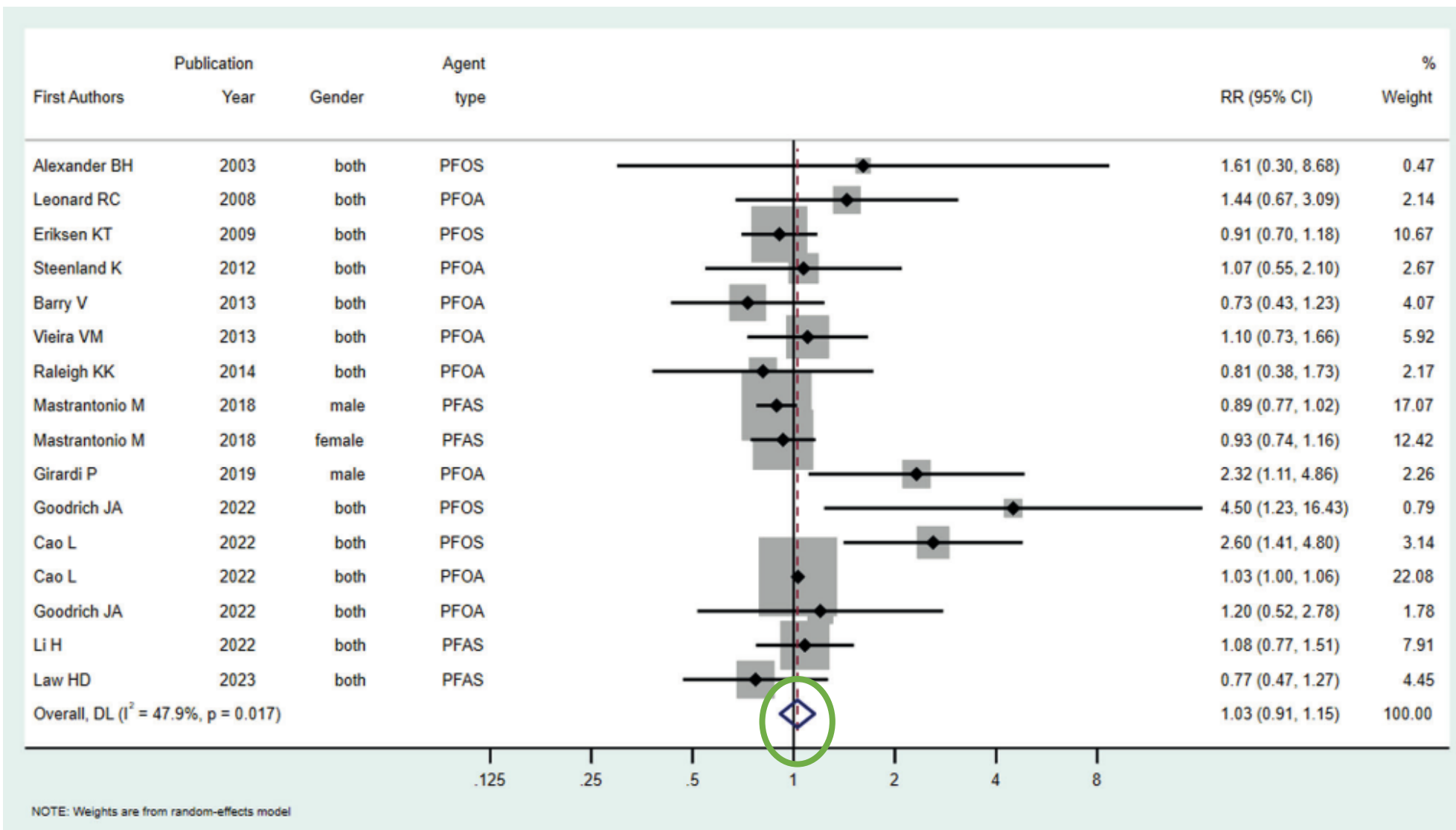
PFOS

Groupe 2B: cancérogène possible pour l'homme

- . Animal : preuves limitées
- . Homme : **preuves inadéquates**
- . Fortes preuves mécanistiques (immunosuppresseur, action épigénétique)

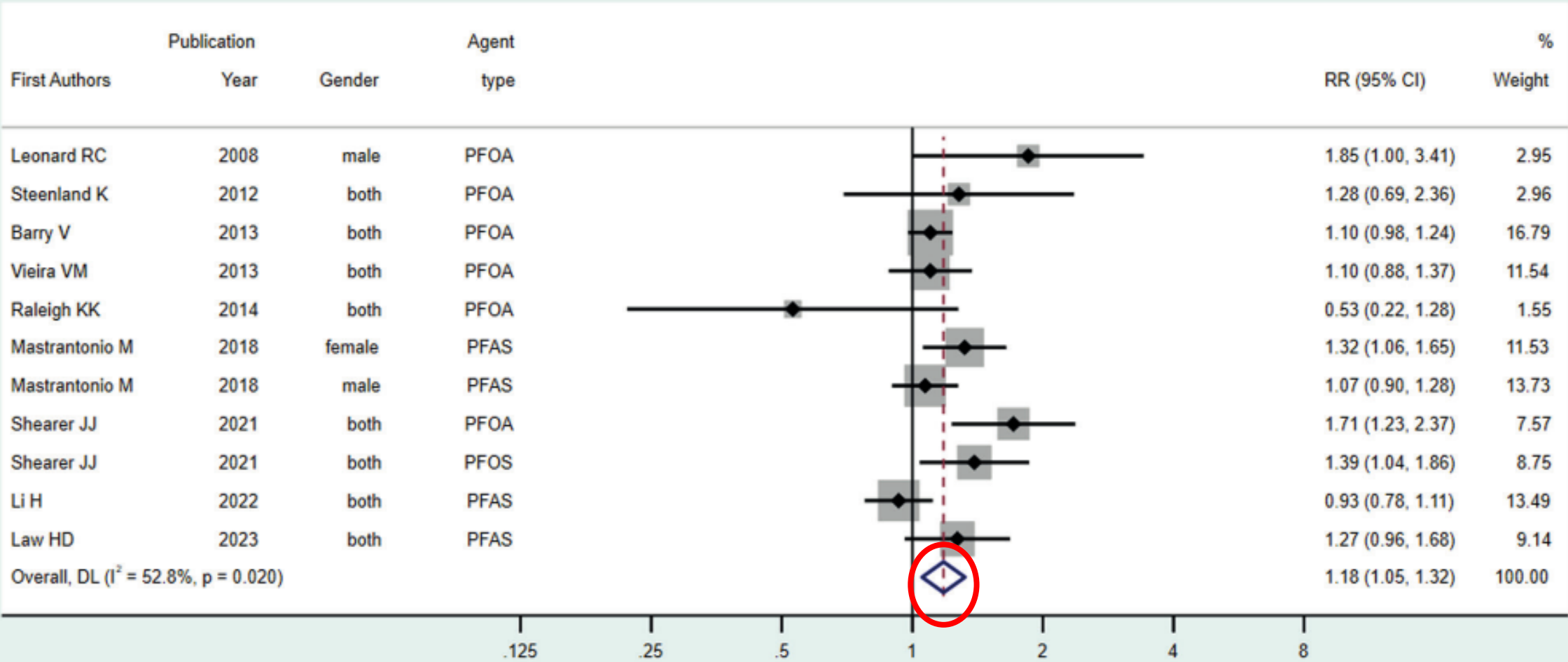
Risques de cancer du foie associés aux PFAS: une revue systématique et une méta-analyse (Boffetta et al., 2023)

B. Liver cancer



Risques de cancer du rein associés aux PFAS: une revue systématique et une méta-analyse (Boffetta et al., 2023)

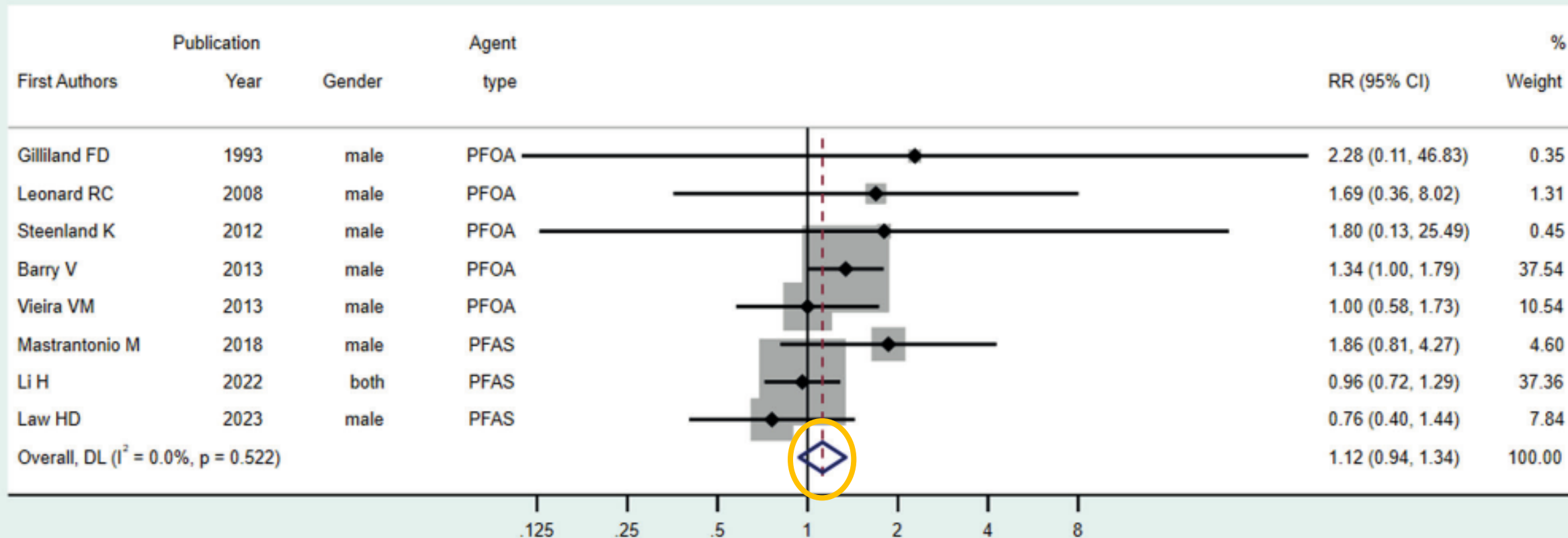
A. Kidney cancer



NOTE: Weights are from random-effects model

Risques de cancer du testicule associés aux PFAS: une revue systématique et une méta-analyse (Boffetta et al., 2023)

C. Testicular cancer



Contamination de l'eau potable par les PFAS à Chièvres



Le 14 juillet 2017, le « US Department of Defence » informe les consommateurs que l'eau du puit de Chièvres est contaminée par le PFOS et le PFOA.

1	1	PFOA + PFOS combined = 84-94	Purchased water - Initial and confirmatory sampling conducted (Mar 17-May 17). Using bottled water. Consumer notification conducted 14 Jul 17.	Continued use of bottled water until closure/transfer in 6-9 months
---	---	---------------------------------------	---	--

Normes dans l'eau potable

Agence américaine de protection
de l'environnement (US-EPA)

Union européenne

Eau potable

2009

- . PFOA = 400 ng/l
- . PFOS = 200 ng/l

2016

- . PFOA + PFOS = 70 ng/l

2023

- . PFOA = 4 ng/l
- . PFOS = 4 ng/l

Eau potable

$\Sigma 20$ PFAS = 100 ng/l

Alimentation

En 2020, l'agence européenne de sécurité de l'alimentation (EFSA) fixe une dose hebdomadaire tolérable pour la $\Sigma 4$ PFAS (PFOA + PFOS + PFHS + PFNA) de 4,4 ng/kg pour les femmes enceintes ou en âge de procréer (BML₁₀, pas de marge de sécurité !).

Concentrations des 20 PFAS dans l'eau à Chièvres avant et après traitement au charbon actif

Congénères				Puits de Chièvres					Château d'eau Chièvres				
		# carbone		11/10/23	17/10/23	23/10/23	31/10/23	9/11/23	11/10/23	17/10/23	23/10/23	31/10/23	9/11/23
PFBuA	Acide carboxylique	4		15	15	16	17	15	4	6	6	5	6
PFPeA		5		40	39	43	44	49	9	12	11	11	15
PFHxA		6		47	46	48	47	50	1	2	2	2	2
PFHpA		7		16	17	16	18	22	0	0	0	0	0
PFOA		8		28	29	26	24	31	0	0	0	0	0
PFNA		9		0	0	0	0	2	0	0	0	1	0
PFDA		10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFUnDA		11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFDoDA		12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFTTrDA		13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFBuS	Acide sulfonique	4		9	10	9	11	11	0	0	0	5	0
PFPeS		5		9	11	11	10	11	0	0	0	0	0
PFHxS		6		91	74	100	94	110	0	0	0	0	0
PFHpS		7		3	2	3	3	2	0	0	0	0	0
PFOS		8		64	51	67	65	58	0	0	0	0	0
PFNS		9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFDS		10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFUdS		11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFDoS		12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFTTrDS		13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Somme 20 PFAS				322	294	339	333	361	14	20	19	24	23
Dépassement de la norme de l'UE (100 ng/l)				3,2	2,9	3,4	3,3	3,6	0,14	0,2	0,19	0,24	0,23
FPOA				28	29	26	24	31	0	0	0	0	0
Dépassement de la norme de l'EPA (4 ng/l)				7,0	7,3	6,5	6,0	7,8	0	0	0	0	0
PFOS				64	51	67	65	58	0	0	0	0	0
Dépassement de la norme de l'EPA (4 ng/l)				16,0	12,8	16,8	16,3	14,5	0	0	0	0	0

Source des concentrations des PFAS: SWDE

Dépassement de la dose hebdomadaire tolérable (DHT, EFSA) des 4 PFAS chez la femme enceinte à Chièvres (4,4 ng/kg) consommant uniquement l’eau du robinet

	Puits de Chièvres				
	concentration (ng/L)				
Date	11/10/23	17/10/23	23/10/23	31/10/23	9/11/23
PFOA	28	29	26	24	31
PFNA	0	0	0	0	2
PFHxS	91	74	100	94	110
PFOS	64	51	67	65	58
Somme des 4 PFAS	183	154	193	183	201
Dose hebdomaire (ng/kg)	36,6	30,8	38,6	36,6	40,2
Dose hebdomadaire/DHT	8,3	7,0	8,8	8,3	9,1

Risques de cancer du testicule : estimations sur la base d'une méta-analyse des études sur le PFOA (Bartell et Vieira, 2021)

Par incrément de **10 ng/ml** de PFOA dans le plasma, le risque de cancer du testicule augmente de **3%**

Hypothèse du pire scénario: même risque de cancer pour PFHxS, PFOS et PFOA

Risque de cancer du testicule sur toute une vie		
0 PFAS ng/ml plasma	1/250	4,0/1000
20 PFAS ng/ml plasma	1/236	4,2/1000
40 PFAS ng/ml plasma	1/223	4,5/1000
60 PFAS ng/ml plasma	1/212	4,7/1000
80 PFAS ng/ml plasma	1/202	5,0/1000

NB. Ces estimations n'ont pas été ajustées pour la durée d'exposition qui est inconnue

Risques de cancer du rein: estimations sur la base d'une méta-analyse des études sur le PFOA (Bartell et Vieira, 2021)

Par incrément de **10 ng/ml** de PFOA dans le plasma, le risque de cancer du rein augmente de **16%**

Hypothèse du pire scénario: même risque de cancer pour PFHxS, PFOS et PFOA

Risque de cancer du rein sur toute une vie				
	Homme		Femme	
0 PFAS ng/ml plasma	1/43	23/1000	1/73	14/1000
20 PFAS ng/ml plasma	1/33	31/1000	1/55	18/1000
40 PFAS ng/ml plasma	1/26	38/1000	1/45	23/1000
60 PFAS ng/ml plasma	1/22	46/1000	1/37	27/1000
80 PFAS ng/ml plasma	1/19	53/1000	1/32	32/1000

NB. Ces estimations n'ont pas été ajustées pour la durée d'exposition qui est inconnue

**Recommandations du Conseil
Scientifique Indépendant (CSI) pour le
suivi médical des personnes
contaminées par les PFAS à Chièvres
et environs : un copié/collé de celles
des « US-National Academies of
Sciences, Engineering and Medicine » !**



* Simple additive sum of MeFOSAA, PFHxS, PFOA (linear and branched isomers), PFDA, PFUnDA, PFOS (linear and branched isomers), and PFNA in serum or plasma

Valeurs limites biologiques (German EPA or UBA)

. **Valeurs limites biologiques HBM-I** : niveaux d'exposition en dessous desquels il n'existe aucun risque pour l'ensemble de la population générale.

En 2016, le comité HBM fixe les HBM-I suivantes :

- . Ensemble de la population : 2 ng PFOA /ml plasma et 5 ng PFOS/ml plasma

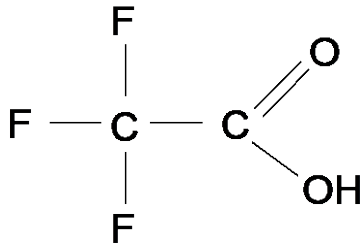
. **Valeurs limites biologiques HBM-II** : niveaux d'exposition à partir desquels des effets délétères peuvent survenir.

En 2019, le comité HBM fixe les HBM-II suivantes:

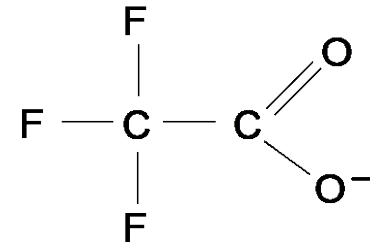
- . Femmes en âge de procréer : 5 ng PFOA /ml plasma et 10 ng PFOS/ml plasma

- . Autres groupes de la population : 10 ng PFOA /ml plasma et 20 ng PFOS/ml plasma

Faut-il s'inquiéter du TFA ?



Acide trifluoroacétique



Sels de trifluoroacétate

Pollution aux PFAS: vive inquiétude pour les habitants de Ciney

Pour déterminer leur présence, les autorités cinaciennes ont prélevé de l'eau à trois endroits de la commune le 22 juillet 2024. Les analyses démontrent que le taux de TFA est de 1100 ng/L dans le centre-ville de Ciney, 1600 ng/L à

Pessoux et 2400 ng/L à Braibant. Selon la future directive européenne sur l'eau potable proposée à partir de janvier 2026, la limite fixée pour la somme de tous les PFAS est de 500 ng/l. Ce total est donc dépassé par le seul TFA.

PFAS

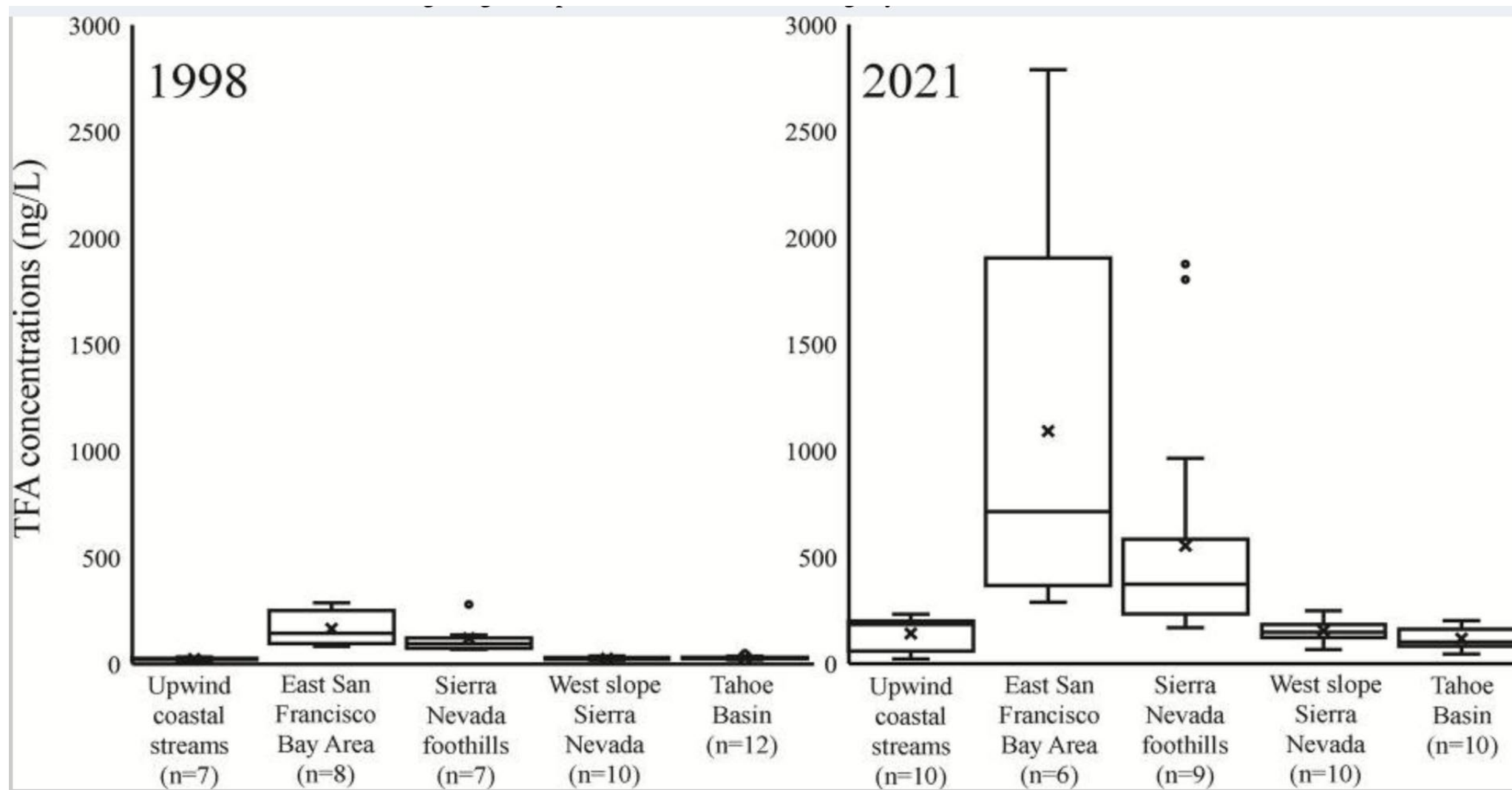
**TAUX ÉLEVÉ POUR 13 ZONES
DE DISTRIBUTION D'EAU**

Directive européenne C/2024/4910 des PFAS dans l'eau potable (DWD)

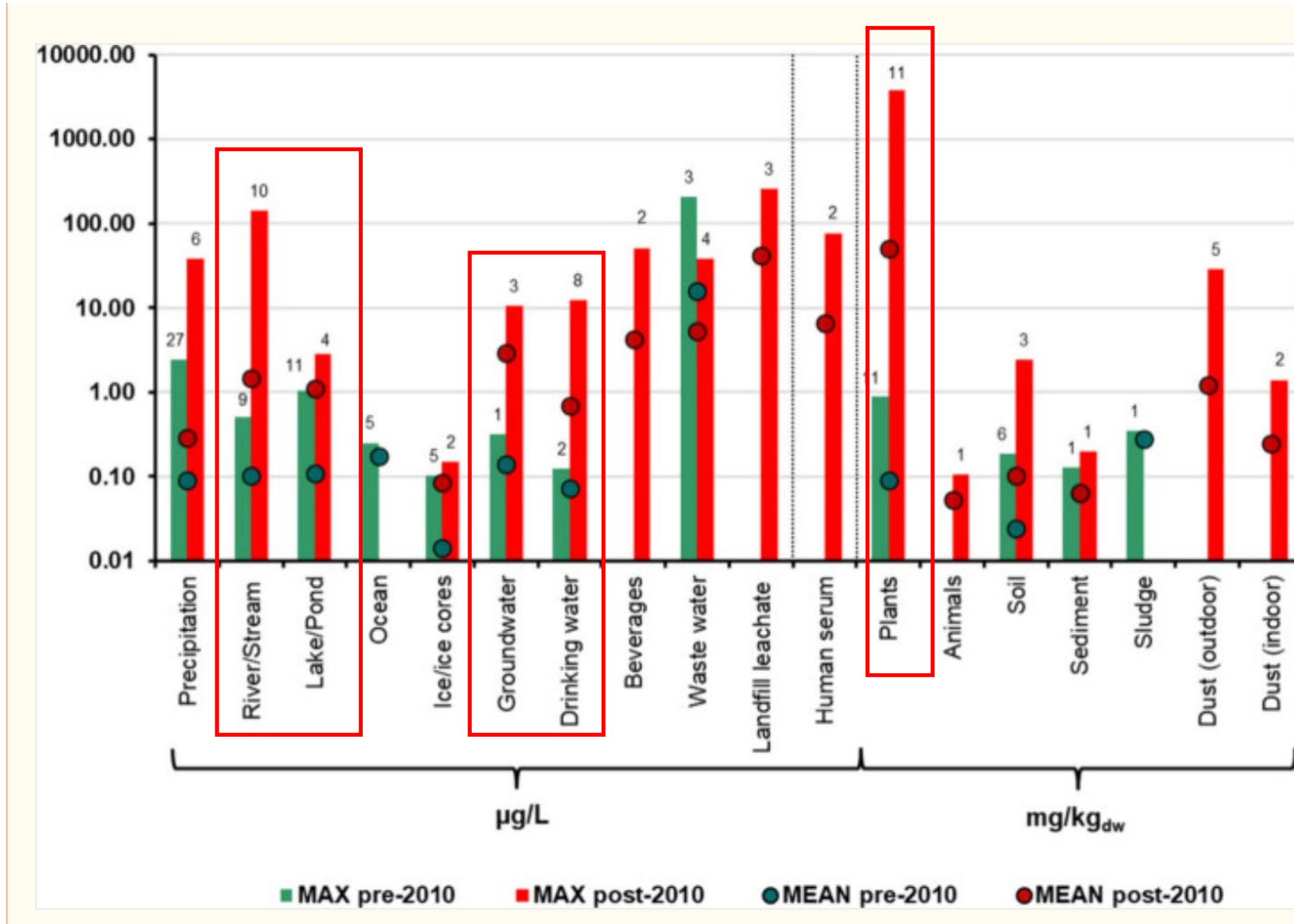
1. **Somme des PFAS** : 100 ng/l pour la somme de 20 PFAS (4 -13 atomes de carbone).
2. **Total des PFAS** : 500 ng/l. **Trois paramètres** doivent être communiqués :
 - . **[Total PFAS]** mesurée par une méthode approximative (« proxy »)
 - . **[TFA]** mesurée par une méthode quantitative
 - . **La différence [Total PFAS] – [TFA]**

Si **[Total PFAS] – [TFA]** est < 0 , **les résultats sont non concluants**, ce qui est très probablement le cas des communes wallonnes avec $[TFA] > 2.000 \text{ ng/l}$ et somme des 20 PFAS $< 100 \text{ ng/l}$.

Augmentation du TFA dans les eaux superficielles en Californie et au Nevada (Cahill, 2022)



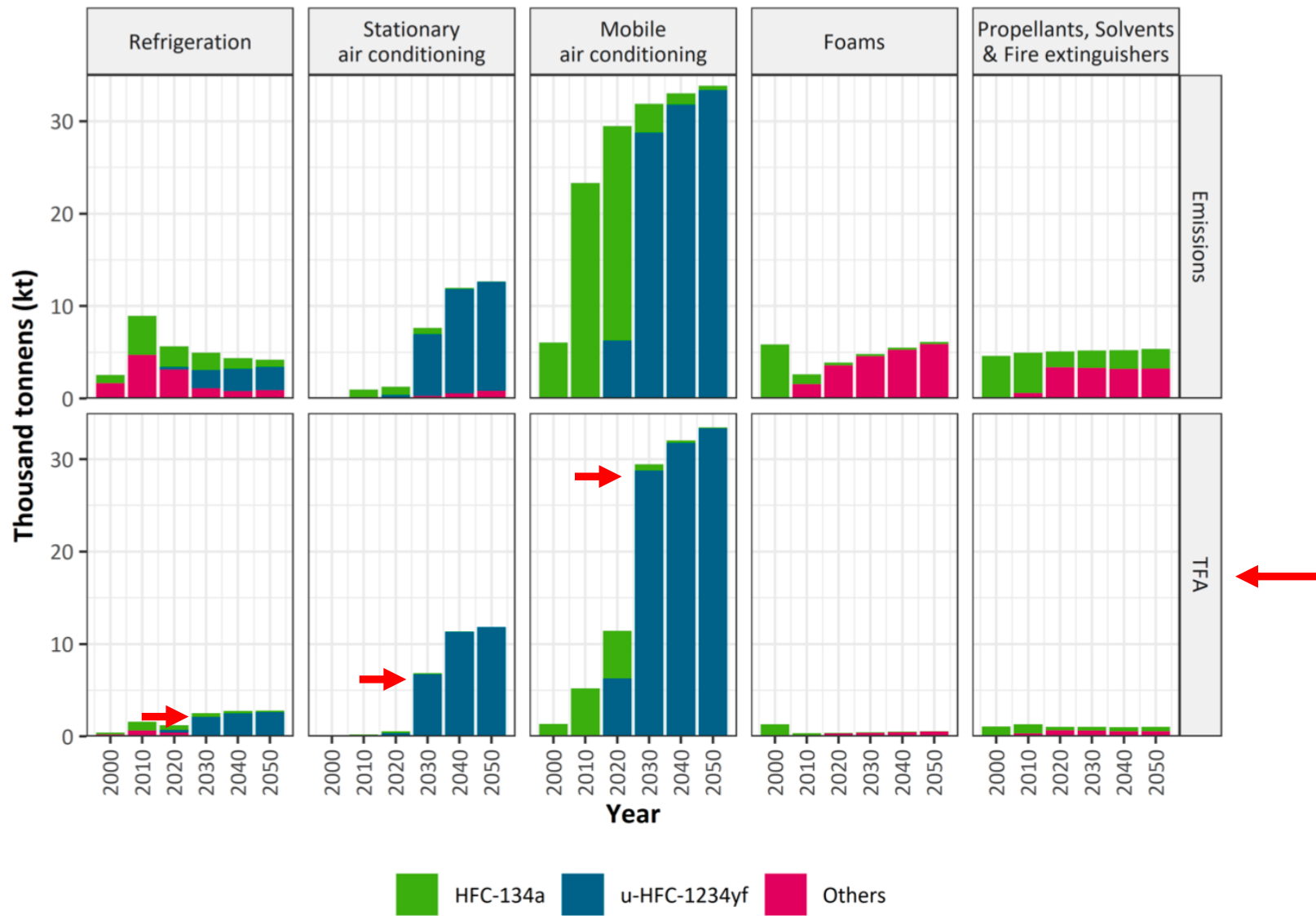
TFA dans l'environnement avant et après 2010 (Arp et al., 2024)



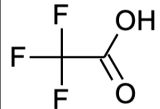
PFAS et TFA dans l'eau potable d'une maison de campagne en Wallonie

Paramètres	Unité	Médiane	Norme
Somme PFAS (4)	ng/l	Non Détecté	absence de norme
Somme PFAS (20)	ng/l	Non Détecté	=< 100 *
TFA	ng/l	1100,00	absence de norme ***
Benzo(a)pyrène	ng/l	Non Détecté	=< 10
Somme 4 PAHs	ng/l	Non Détecté	=< 100
Dichloréthane,1,2	µg/l	Non Détecté	=< 3,0
Benzène	µg/l	Non Détecté	=< 1,0
Solvants chlorés	µg/l	Non Détecté	=< 10,0
Somme THM	µg/l	2,70	=< 100,0
Dichlorobenzamid,2,6	ng/l	Non Détecté	=< 4500
Desphé. Chloridazon	ng/l	190,00	=< 4500
Vis 01	ng/l	Non Détecté	=< 4500
Métazachlor ESA_NEG	ng/l	Non Détecté	=< 4500
Métolachlor ESA_NEG	ng/l	70,00	=< 4500
Flufénacet ESA	ng/l	Non Détecté	=< 4500
Atrazine	ng/l	Non Détecté	=< 100
Bentazone	ng/l	Non Détecté	=< 100

Projections des émissions des hydrofluorocarbones (HFCs) et du TFA par secteur d'activités dans l'Union européenne (Source: UBA, 2021)



A.8 Annex on biodegradability and ecotoxicity

Trifluoroacetic acid		CAS 76-05-1	Source
	synonyms: TFA EU production / import: 1,000 - 10,000 t/a molecular formula: C ₂ HF ₃ O ₂ water miscibility: miscible with water vapour pressure: 130 hPa at 20°C		ECHA ECHA Wiki ^a Wiki ^a Wiki ^a
Test system			
fish acute <i>Danio rerio</i>	OECD 203	LC ₅₀ (96 h) > 1200 mg Na-TFA/L NOEC = 1200 mg Na-TFA/L (= 999 mg TFA/L)	ECHA, Boutonnet et al. (1999)
fish embryo acute toxicity (FET) test <i>Danio rerio</i>	OECD 236	EC ₅₀ (6 d after fertilization) = 700 mg/L	Ulhaq et al. (2013)
crustacea acute <i>Daphnia magna</i>	OECD 202	LC ₅₀ (48 h) > 1200 mg Na-TFA/L (= 999 mg TFA/L)	ECHA, Boutonnet et al. (1999)
crustacea chronic <i>Daphnia magna</i>	OECD 211	NOEC (21 d) for reproductive rate and survival >= 100 mg Na-TFA /L (>= 25 mg TFA/L)	ECHA
algae <i>Raphidocelis subcapitata</i>	OECD 201	Na-TFA was studied ErC ₅₀ (72 h) = 11.4 mg TFA/L ErC ₁₀ (72 h) = 0.18 mg TFA/L	ECHA
<i>Raphidocelis subcapitata</i>		EC ₅₀ (72 h) = 4.8 mg Na-TFA/L NOEC (72 h) = 0.12 mg Na-TFA/L	Boutonnet et al. (1999)
<i>Raphidocelis subcapitata</i>	OECD 201	ErC ₅₀ (72 h) = 237 mg/L ErC ₁₀ = 5.6 mg/L NOEC = 2.5 mg/L	ECHA, Chabot 2017
cyanobacteria <i>Anabaena flos-aquae</i>		EC ₅₀ (72 h) = 2,400 mg Na-TFA/L NOEC (72 h) = 600 mg Na-TFA/L	Boutonnet et al. (1999)
bacteria Activated sludge	OECD 209	EC ₂₀ (3 h) / EC ₅₀ (3 h) > 1000 mg Na-TFA/L (=832 mg TFA/L)	ECHA
aquatic plants <i>Lemna gibba</i>		EC ₅₀ (72 h) = 11,000 mg Na-TFA/L NOEC (72 h) = 300 mg Na-TFA/L	Boutonnet et al. (1999)
Hydrolysis and biological degradation behaviour			
hydrolysis		not relevant	
photolysis	xenon lamp > 300 nm	formation of 92 µmol/L CO ₂ after 42 min. correspond with a degradation of 0.92 %.	ECHA
degradation	OECD 301 D	no degradation of the ammonia salt of TFA after 28 d in a Closed Bottle Test.	ECHA
		degradation of TFA in the atmosphere by photolytically created OH radicals: calculated half-life 31 d	HSDB
Potential for bioaccumulation			
mesocosm-experiment	Benthic freshwater microbio-zoenosis	after addition of 2-[¹⁴ C]TFA (43 µg/L) small but statistically significant enrichment over time of approx. a factor 20 within 2.5 years from 1.15 x 10 ¹³ to 2.22 x 10 ¹² µg/cell/day.	ECHA
Risk assessment and safety information			
classification GHS	harmoneised classification as Cor. 1A (H314), Acute Tox. 4 (H332) and Aquatic Chronic 3 (H412)		ECHA

H412 Hazardous to the aquatic environment (chronic)

PFAS » dans le foie du Puffin de Scopoli de 2003 à 2022 (Lu et al. 2024)



Muséum national d'Histoire naturelle

Calonectris diomedea (Scopoli, 1769) - Puffin de Scopoli-...

Portrait ... Longueur de 45 à 50 cm.
Envergure de 100 à 125cm. Poids : de 400 à 840g. Diagnose. Oiseau de taille...

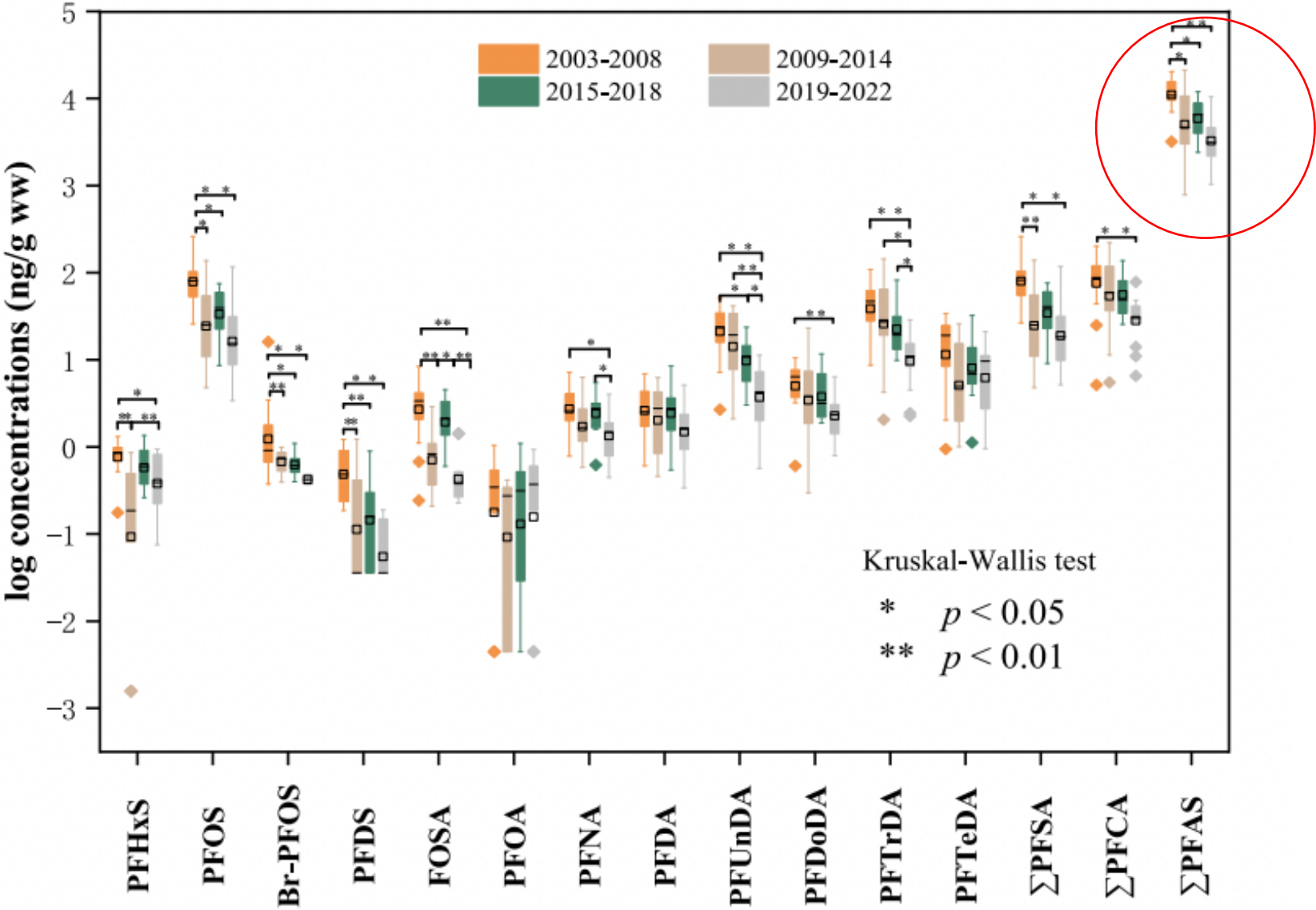
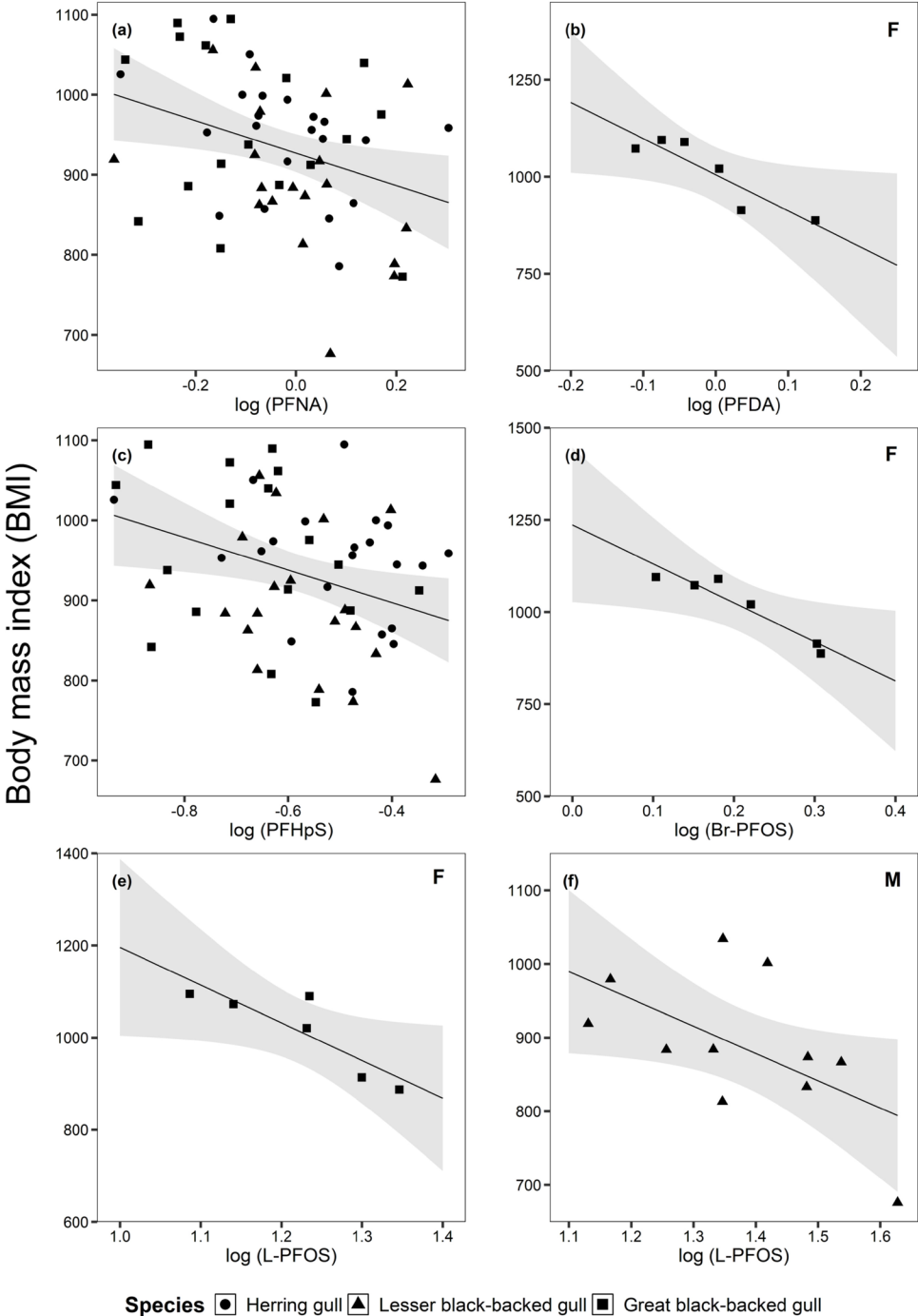
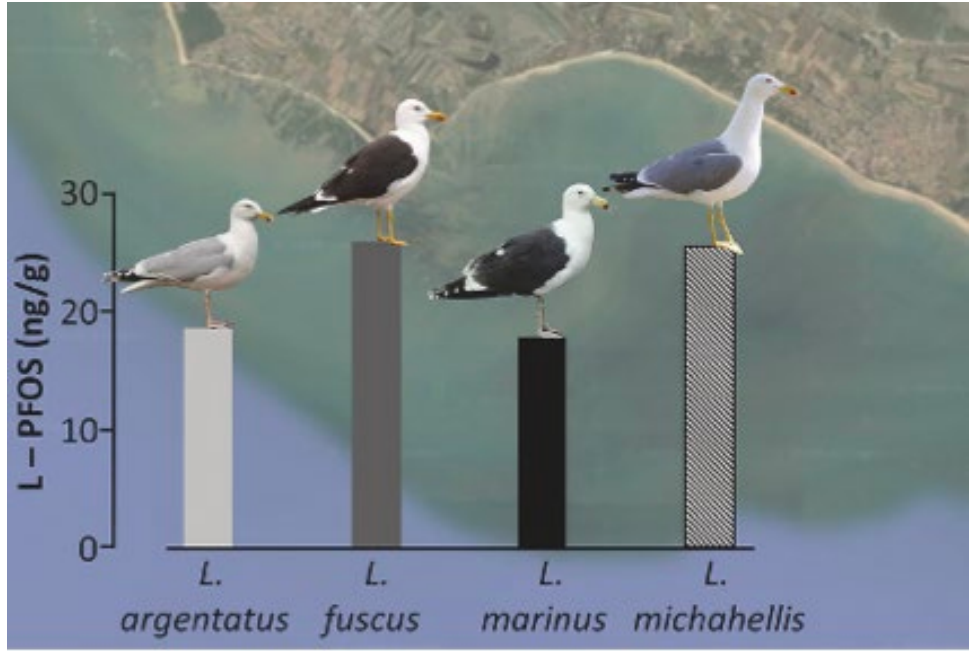


Fig. 2. Log concentrations (ng/g ww) of PFAS in liver of Scopoli's shearwater at different periods.

Effets des PFAS sur le développement
des poussins des oiseaux de mer :
diminution de l'indice de masse
corporelle (IMC) (Sebastiano et al., 2023)



Que faire pour réduire la charge corporelle ?

- **Femmes enceintes:** supplément d'acide folique (0,4 mg/jour).
- **Consommation modérée** de poissons, fruits de mer, viande et œufs.
- Eviter de consommer des **abats (foie et rognons)**, des aliments et boissons dans des **contenants imperméabilisés**.
- Consommer au moins **5 portions de fruits et légumes** par jour en privilégiant **les légumes verts** (épinard, haricot, chou de Bruxelles, brocoli), **les fruits rouges** (fraise, cerise, framboise, groseille, myrtille, mure) et les **légumineuses** (lentille, fève, haricot rouge) **riches en folate**.
- S'assurer que **l'eau du robinet** ne contient plus de PFAS à longue chaîne.

A PFOA

Group by
folate quartile

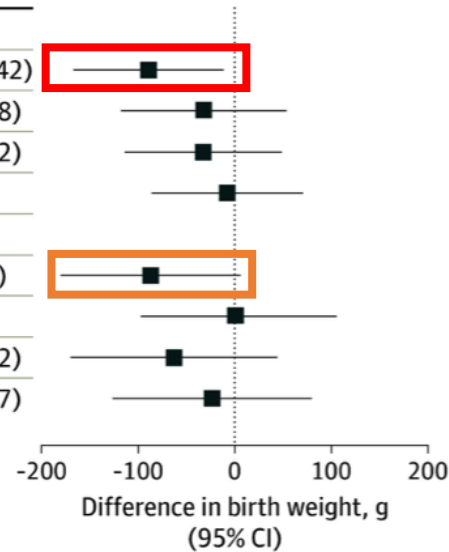
Difference in birth
weight, g (95% CI)

DFE

Quartile 1	-89.13 (-166.84 to -11.42)
Quartile 2	-32.09 (-117.85 to 53.68)
Quartile 3	-32.54 (-113.80 to 48.72)
Quartile 4	-7.71 (-86.21 to 70.78)

Plasma folate

Quartile 1	-87.03 (-180.11 to 6.05)
Quartile 2	4.23 (-97.02 to 105.49)
Quartile 3	-62.90 (-169.92 to 44.12)
Quartile 4	-23.42 (-126.52 to 79.67)

**B** PFOS

Group by
folate quartile

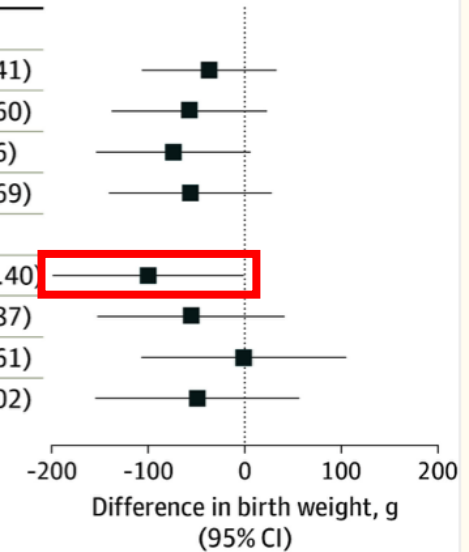
Difference in birth
weight, g (95% CI)

DFE

Quartile 1	-37.20 (-106.81 to 32.41)
Quartile 2	-57.74 (-138.09 to 22.60)
Quartile 3	-74.21 (-154.08 to 5.66)
Quartile 4	-56.59 (-140.86 to 27.69)

Plasma folate

Quartile 1	-100.23 (-199.06 to -1.40)
Quartile 2	-55.92 (-152.71 to 40.87)
Quartile 3	-1.32 (-107.25 to 104.61)
Quartile 4	-49.45 (-154.91 to 56.02)

**C** PFNA

Group by
folate quartile

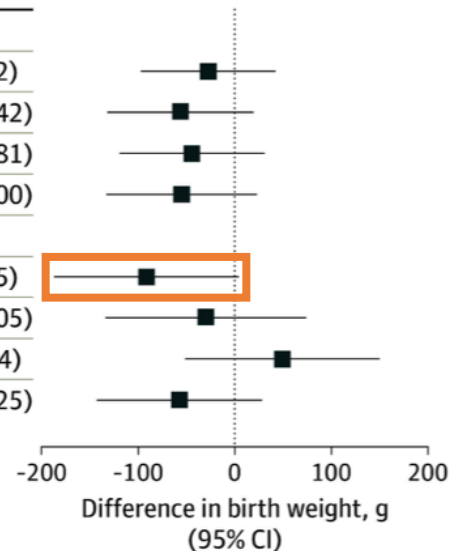
Difference in birth
weight, g (95% CI)

DFE

Quartile 1	-27.35 (-96.92 to 42.22)
Quartile 2	-56.19 (-131.81 to 19.42)
Quartile 3	-44.26 (-119.34 to 30.81)
Quartile 4	-54.92 (-132.83 to 23.00)

Plasma folate

Quartile 1	-91.34 (-186.84 to 4.15)
Quartile 2	-29.81 (-133.68 to 74.05)
Quartile 3	49.43 (-51.18 to 150.04)
Quartile 4	-57.21 (-142.66 to 28.25)



**Réduction du poids à la
naissance associée aux PFAS
dans le plasma de mères
déficientes en folate**

Zhang et al. 2023

Prévention de la pollution environnementale par les PFAS

- **Bannir les PFAS** non indispensables au fonctionnement de la société : initiative prise par l'Agence Chimique Européenne, ECHA).
- **Surveiller les PFAS** dans l'eau des captages à proximité des sites de production et/ou d'utilisation des anciens PFAS (« Legacy PFAS »).
- **Surveiller les anciens PFAS** « Legacy PFAS » dans les lixiviats des CET et dans l'eau des captages à proximité.
- **Fixer une norme très stricte pour la teneur maximale des PFAS** dans les boues « valorisées » en agriculture (69 % des boues des STEP en Région wallonne).



“For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for Nature cannot be fooled”

Richard P. Feynman, U.S. physicist, Nobel price winner (1918-1988)

Merci pour votre attention !