

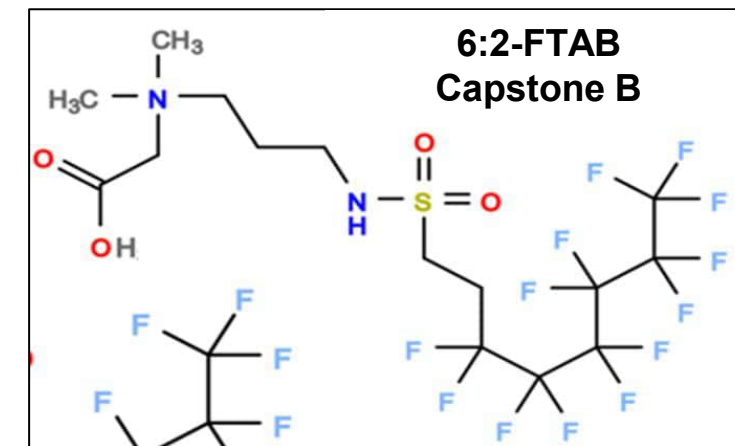
Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.



Dr. Frank KARG / CEO (PDG) HPC INTERNATIONAL SAS / France

Scientific Director of HPC-Group International

Tél : +33 (0) 607 346 916, Email : frank.karg@hpc-international.com



PFAS 1st Classification:

Characteristics	PFAS Polymers	PFAS Monomers
Chemical Reactivity:	none	important
Environmental Mobility:	none	Soluble and some volatile (FTOHs, etc.)
Solubility & Bio-disponibility:	none	Strong
Environmental Chemistry:	Strongly inert	Biotransformation of poly-fluorinated to per-fluorinated PFAS, pH & Eh dependent
Bioaccumulation:	none	Yes; compound dependent
Toxicity / Ecotoxicity:	Strongly inert	Multiple: hepato-, repro-, immuno-, neuro-, hemato-toxicity, etc.
Chemical analogues:	PVC	Vinyl chloride
Societal & Technological Importance:	<p><u>Very strong:</u></p> <p>Medicine equipment, Electronics, Sealings, Confinement of chemicals, Climatization equipment & fridges, Car-industry, Aeronautic & Space Industry, Paints. Papers. Cartridges. etc.</p>	<p>Less strong:</p> <p>AFFF (Anti Fire Fighting Foams), Galvanization Additives, etc.</p>

**Min:
33
Catégories**

1. **Acides Perfluoroalkane-sulfoniques (PFASs),**
2. Perfluoroalkane-sulfonates (sels),
3. Perfluoroalkane-sulfinique-acide/sulfonates,
4. Perfluoro-cycloalkane-sulfonique-acide et dérivés,
5. Perfluoroalkane-sulfonamides (FASAs),
6. Perfluoroalkane-sulfonamide, sels d'ammonium quaternaire,
7. Acrylate de perfluoroalkane-sulfonamide (MeFASACs),
8. Méthacrylates de perfluoroalkane-sulfonamide,
9. Perfluoroalkane-sulfonamide phosphates,
10. Halogénures de perfluoroalkane-sulfonyl,
11. Autres composés polyfluoroalkyl-sulfureux,
12. **Acides perfluoroalkyliques-carboxyliques (PFCA),**
13. Sels perfluoroalkyliques-carboxyliques,
14. Perfluoroalkyliques-alcools/cétones,
15. Halogénures d'acide perfluoroalkyliques-carboxylique,
16. Perfluoroalkyliques-halogénures,
17. Perfluoroalkyliques-alkyl-éthers,
18. Perfluoroalkyliques-amines,
19. Perfluoroalkyliques-amino-acides/sels/esters,
20. **Perfluoroalkyliques-phosphates,**
21. Perfluoroalkyliques-acrylate,
22. Perfluoroalkyliques-méthacrylates,
23. Autres esters perfluoroalkyliques-carboxyliques,
24. Composés perfluoroalkyliques-hétérocycliques,
25. Perfluoroalkyliques-silane,
26. **Fluorotélomère-alcooles,**
27. Fluorotélomériques halogénides,
28. Fluorotélomériques sulfonates, chlorures de sulfonyl et sulfonamides,
29. Acrylate de fluorotélomériques,
30. Méthacrylates de fluorotélomériques,
31. Autres acrylates,
32. Fluorotélomériques phosphates,
33. Autres fluorotélomères.

> 9 000 !

Au total, il existe > 9 000 - 15 000 PFAS aux caractéristiques chimiques et physiques différentes.

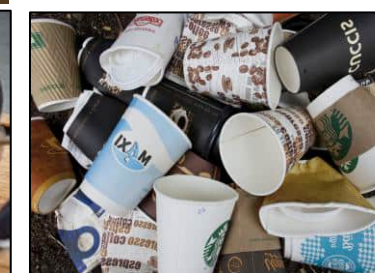
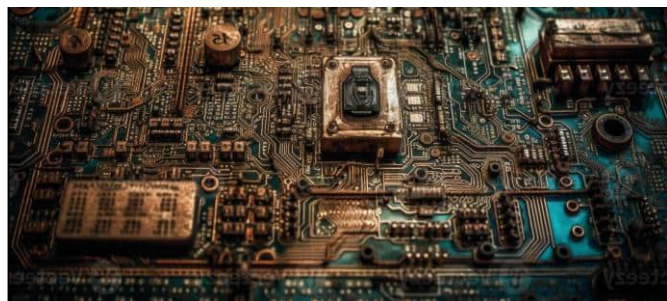
Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.

Production & Applications depuis 1960

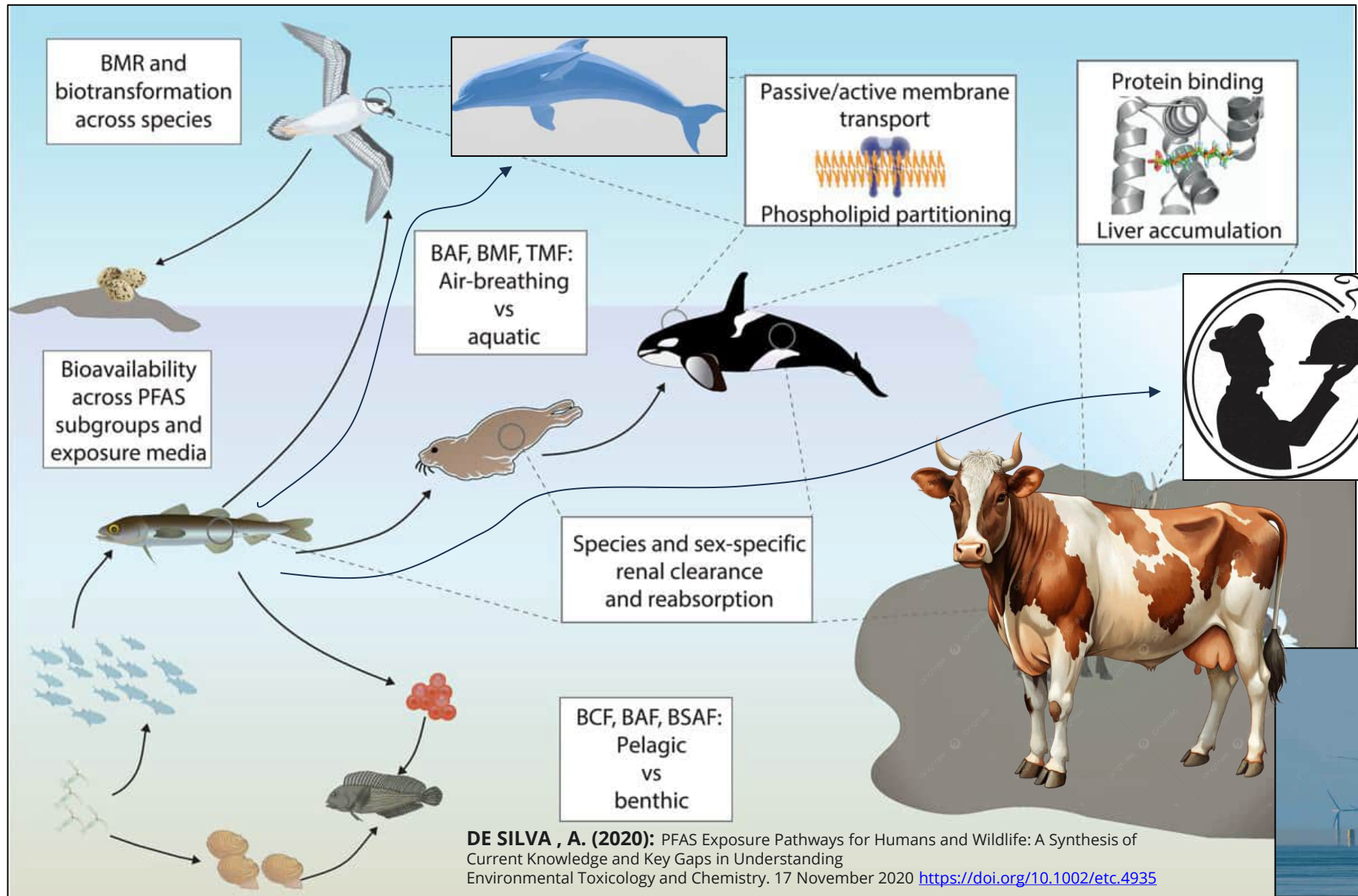
- **Galvanisation**
- **Production des Textiles**
- **Food Packaging (Polymers)**
- **Production des Papiers & Cartons**
- **Raffineries, Industrie Photographique & incres**
- **Matériel de Construction (Bétons):**
par ex. C₈-C₂₀-gamma-omega-perfluoro Thiols)
- **Peintures, Encres & Laces**
- **Modules électroniques & semi-conducteurs**
- **Huiles Hydrauliques,**
- **Production de Teflon (Fluoropolymères)**
- **Mousses anti-incendie (AFFF)**
- **Papiers traités en surface & Cartons....**



AFFF Use
Airport Fire Fighting Foams
(AFFF): Air Base BA 103



Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.



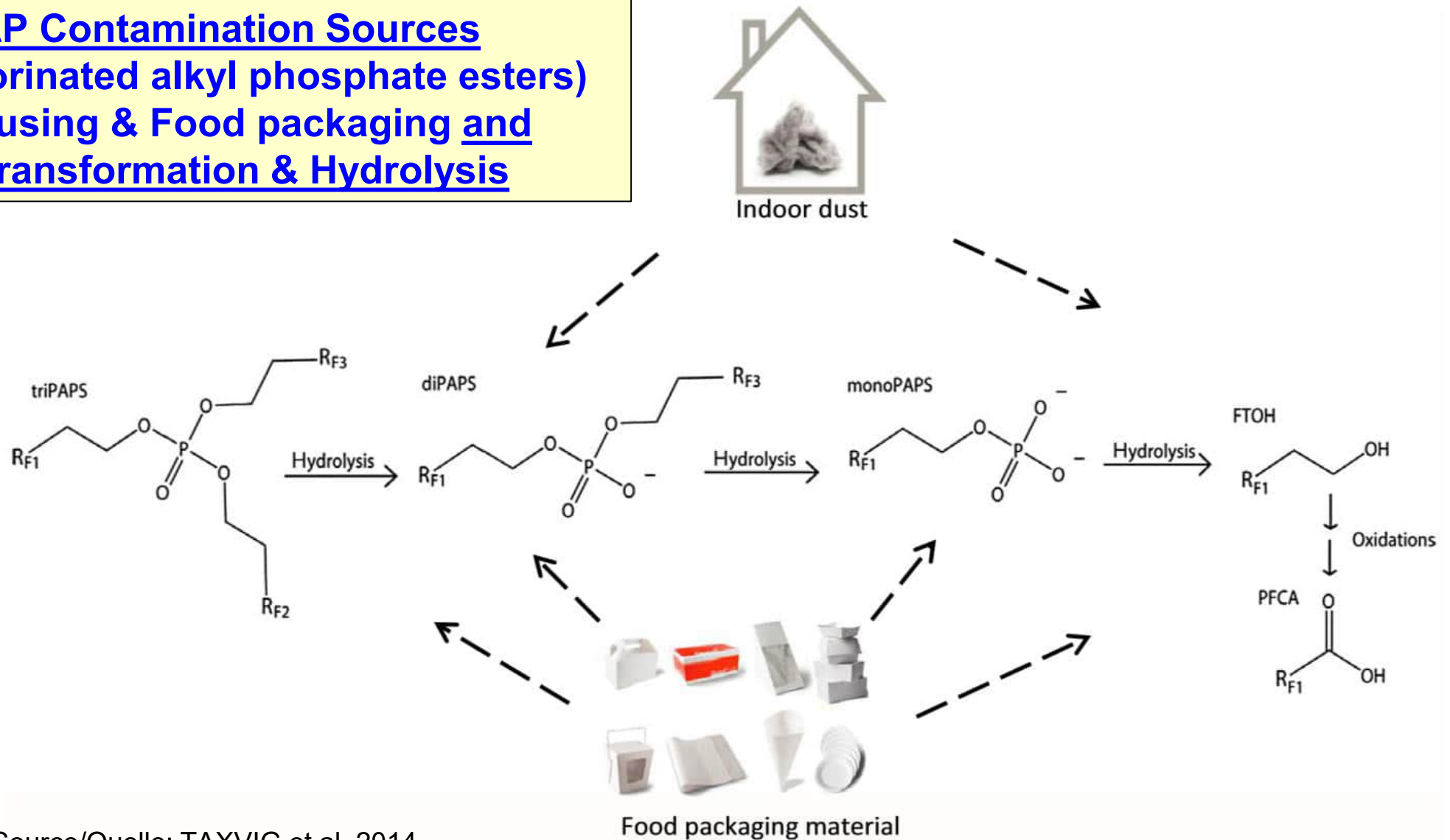
Directive 2013/39/UE du 12/08/2013
cadre sur l'eau européenne (DCE):
PFOS & Normes de Qualité Environnementale (NQE-CMA): 0,65 ng/l (Eaux superficielles) et 0,13 ng/l (Eaux marines)



DE SILVA, A. (2020): PFAS Exposure Pathways for Humans and Wildlife: A Synthesis of Current Knowledge and Key Gaps in Understanding Environmental Toxicology and Chemistry. 17 November 2020 <https://doi.org/10.1002/etc.4935>

Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.

PAP Contamination Sources (Polyfluorinated alkyl phosphate esters) in Housing & Food packaging and Biotransformation & Hydrolysis



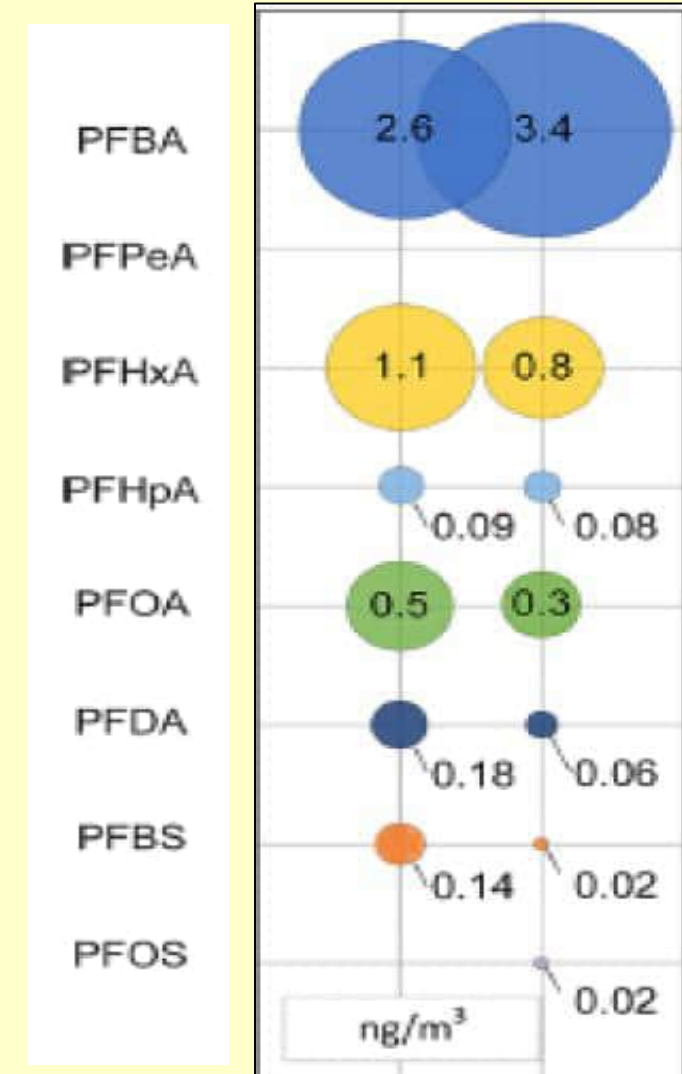
Source/Quelle: TAXVIG et al. 2014

Emissions de l'Incinération des PFAS polymères et monomères :

► INERIS (2024) : Emissions des Incinérateurs Exemples de produits fluorés de décomposition de certains PFAS lors de leur incinération [García et al. (2007) ; Geertinger et al. (2019); Huber et al. (2009)] :

- Fluoropolymères → : **CF₄**, C₂F₆, CHF₃, C₃F₆, CClF₃, C₄F₈, C₂Cl₃F₃, HF, **TFA** : Acide trifluoroacétique et autres gaz perfluorés,
- PFOS → **CF₄**, C₂F₆, CHF₃, C₂H₂F₂, HF, COF₂
- PTFE → **CF₄**, C₂F₆, C₃F₆, C₂F₄ et autres composés fluorés...

► Bjorklund et al. (2023) : **Rejets PFAS par les incinérateurs des déchets municipaux (ng/m³)** :
→ **PFAS poly-fluorés, fluoro-chloro-aromatiques ???**



Emissions de l'Incineration des PFAS polymères et monomères :

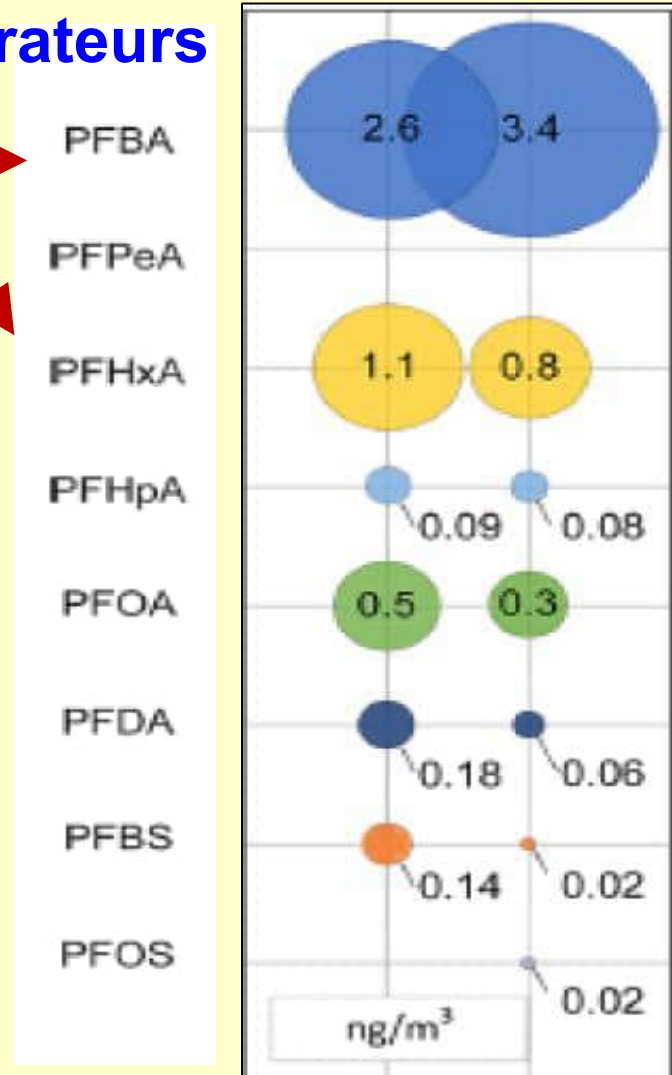
- Bjorklund et al. (2023+2024) : **Rejets PFAS par les incinérateurs des déchets municipaux (ng/m³)**:

→ **PFAS poly-fluorés, fluoro-chloro-aromatiques ???**
+

- Rotard et al.: Incineration des déchets municipaux :
→ Synthèse « De Novo » (Cendres volants et nano-particules) : **4,5 g/kg Perfluoro-aromatiques** :

99 % HCB + 1 % (45 g/kg) Naphtalènes + Styrènes, Benzènes, Furanes, Biphényles et Biphénylates fluorés-chlorés + 1,9 mg/kg PCFDF (Poly-chlor-fluor-Dibenzo-para-Furanes) :

**Congénères : PCFDD : 1700n +
PCFDF : 3318n**



**OTM-45
Sampling
by dynamic Flow
(XAD2)
(Montrose
Environmental)**



06/05/2024

Ginger LECES, filiale du groupe Ginger devient le
1er laboratoire français accrédité pour la mesure
des PFAS dans les rejets atmosphériques

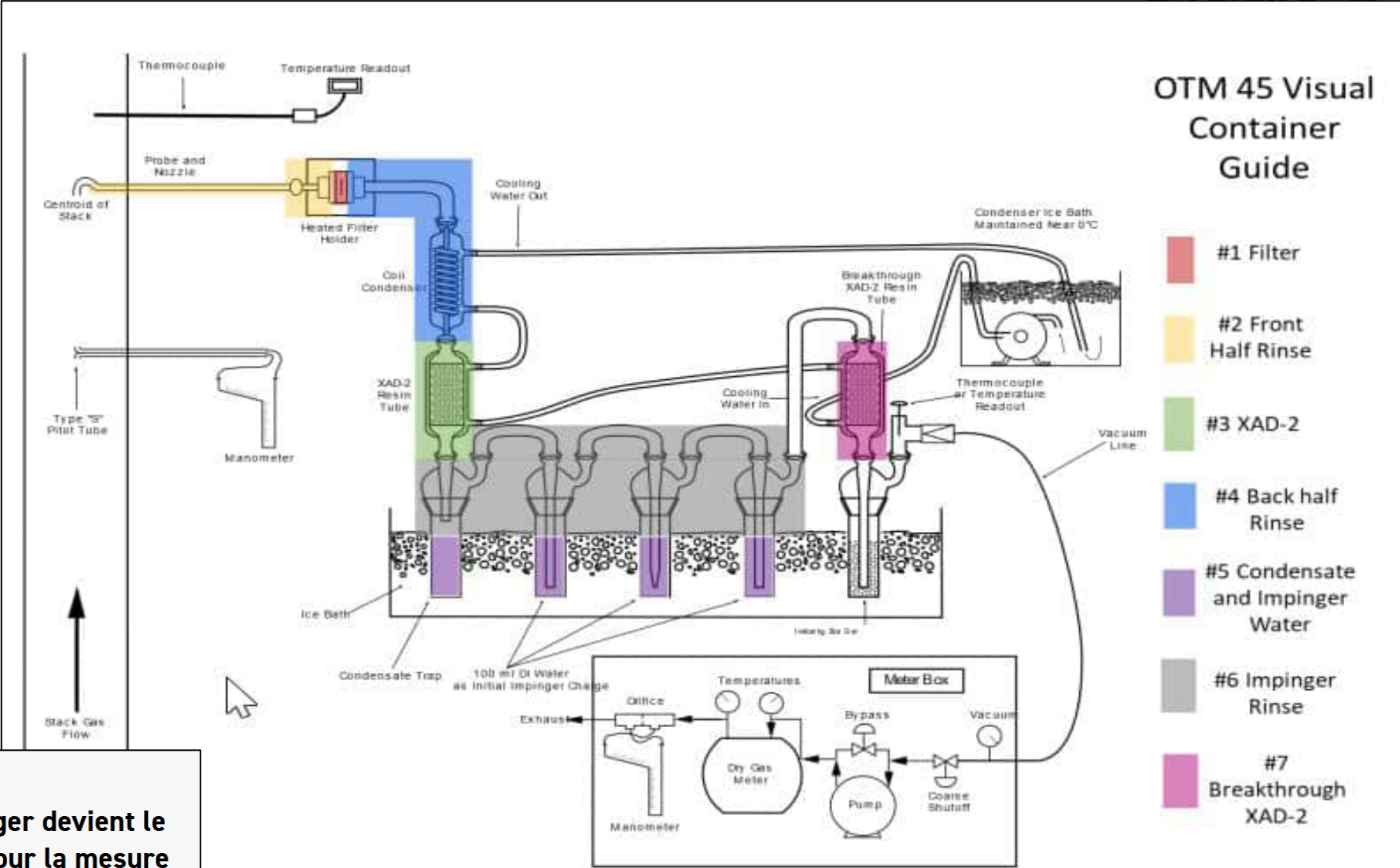
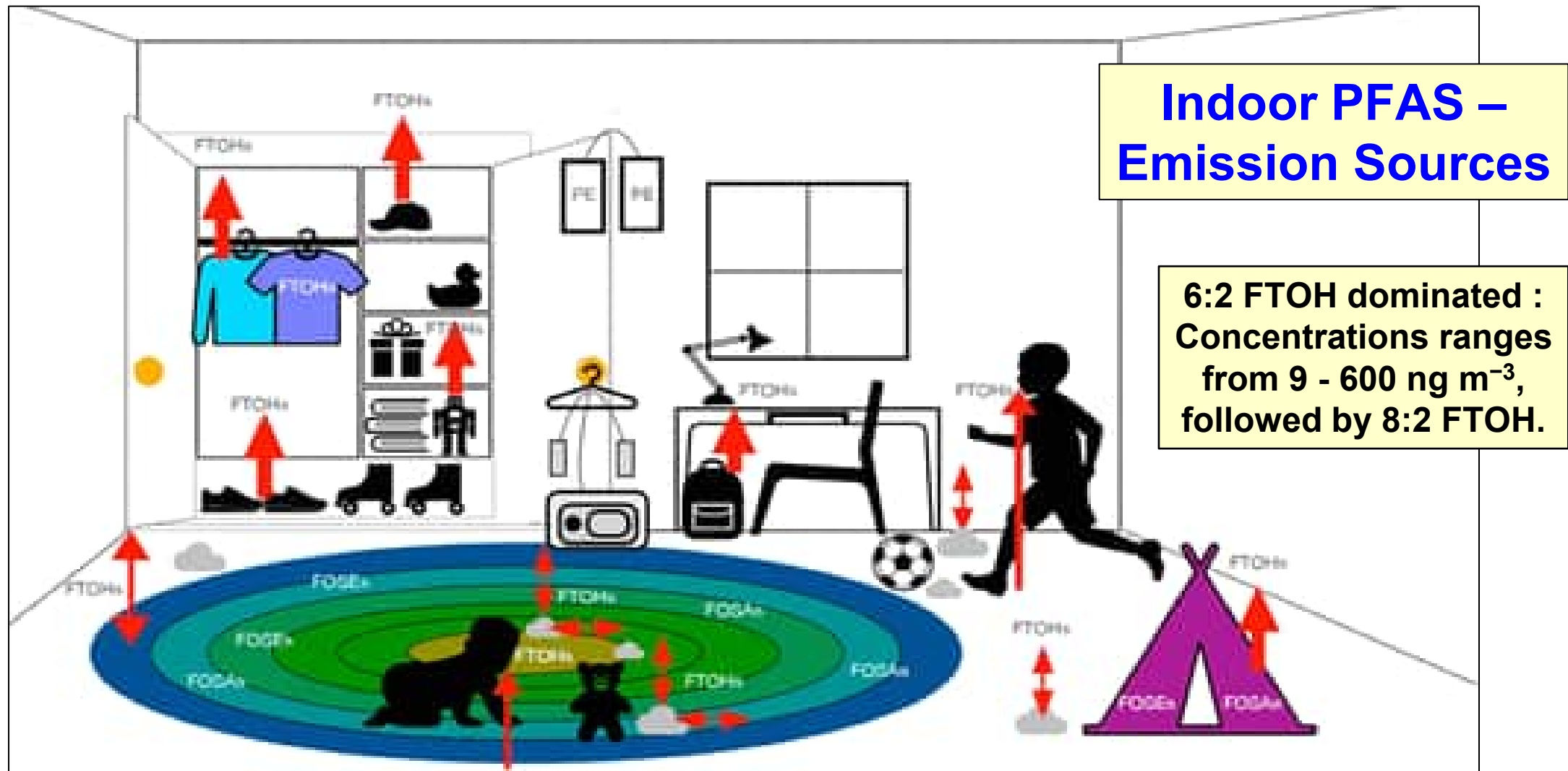


Figure OTM-45-1. Sampling Train



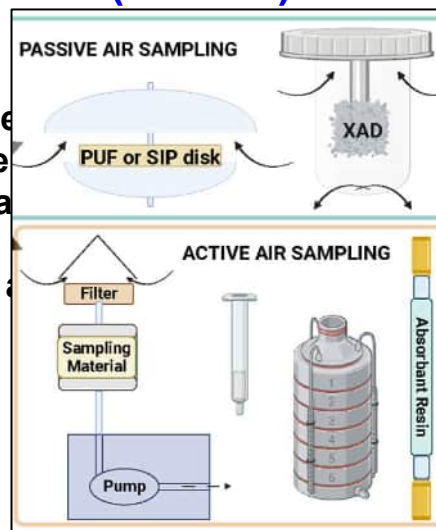
FTOHs: Echantillonnages et Analyses : Gaz du sol et Air ambiant : En général

➤ Prélèvements :

Les Matrices les plus utilisées sont (Wallace et al.): **Mousses en polyuréthane (PUF)**, et combiné PUF avec résine **XAD2** entre 2 mousses PUF = „Sandwich“ (cartouche de type **Orbo 2500**) en aval du filtre de collecte des particules, qui sont les supports les plus utilisés (Wallace et al, 2024) ou **Mousse PUF** avec un adsorbant à base de **charbon actif (GAIA)** et composé de **fibres de résine synthétique**.

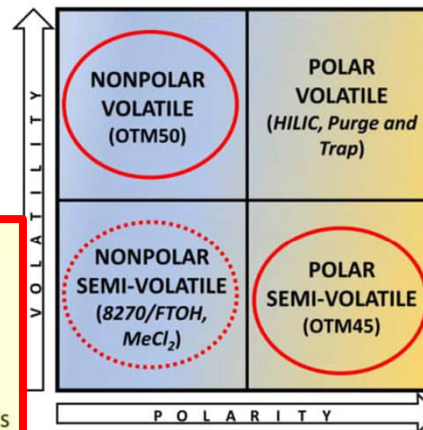
➤ Prélèvements d'air passifs :

- Polyurethane foam (PUF), styrene-divinyl-benzene co-polymeric resin (i.e., XAD), or polyethylene glycol
- Sorbent-impregnated polyurethane foam-passive air sampling
- For SIP-PAS, a PUF disk is immersed with a sorbent, such as Amberlites,
- XAD-4 (Amberlite),
- XAD-2-passive air sampling
- Activated Carbon Fiber ACF-PAS),
- Polyethylene sheets.



- Canister sampling (OTM-50) with GC-MS analysis
- 30 targeted volatile fluorocarbons
- Primarily known PICs, some industrial PFAS

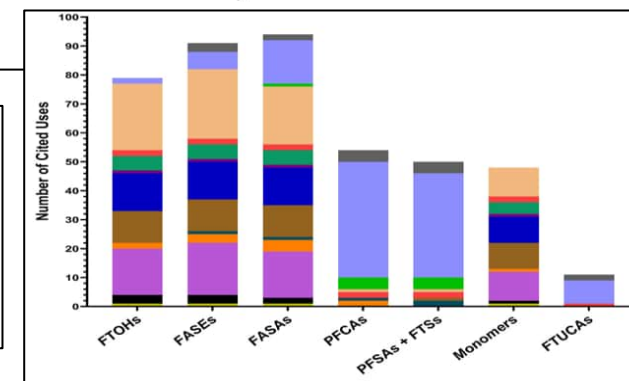
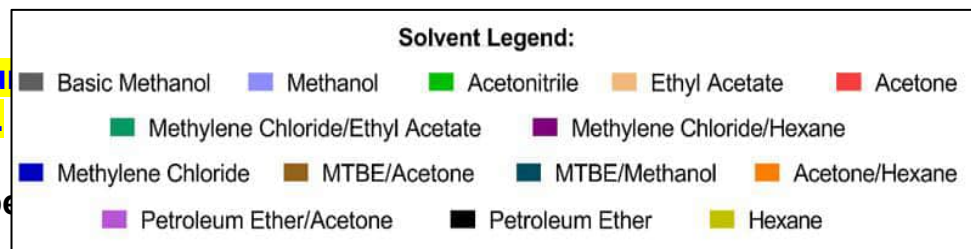
- Method 0010 sampling with 8270 GC-MS analysis (future OTM-55)
- Targeted analysis for fluorotelomer alcohols (FTOHs), select 8270 compounds and potential PICs
- Includes potential compounds of concern



- Not a current focus
- Impinger sampling?
- LC analysis?
- Limited number of PFAS in this class
- OTM-45 sampling with LC-MS/MS analysis
- Currently includes 49 targeted PFAS (C4 and larger)
- Analysis (and standards) largely related to drinking water methods 533 & 537.1, 1633

➤ Prélèvements d'air actifs :

- Thermal desorption tubes: Carbopack (Eurochem), Orbo 2500 PUF-XAD2-PUF-Sandwich, etc.
- Solid phase extraction SPE cartridges,
- Cascade impactors with and without sorbent
- Solvent extraction techniques.



FTOHs: Echantillonnages et Analyses : Gaz du sol et Air ambiant : USA

➤ Sampling:

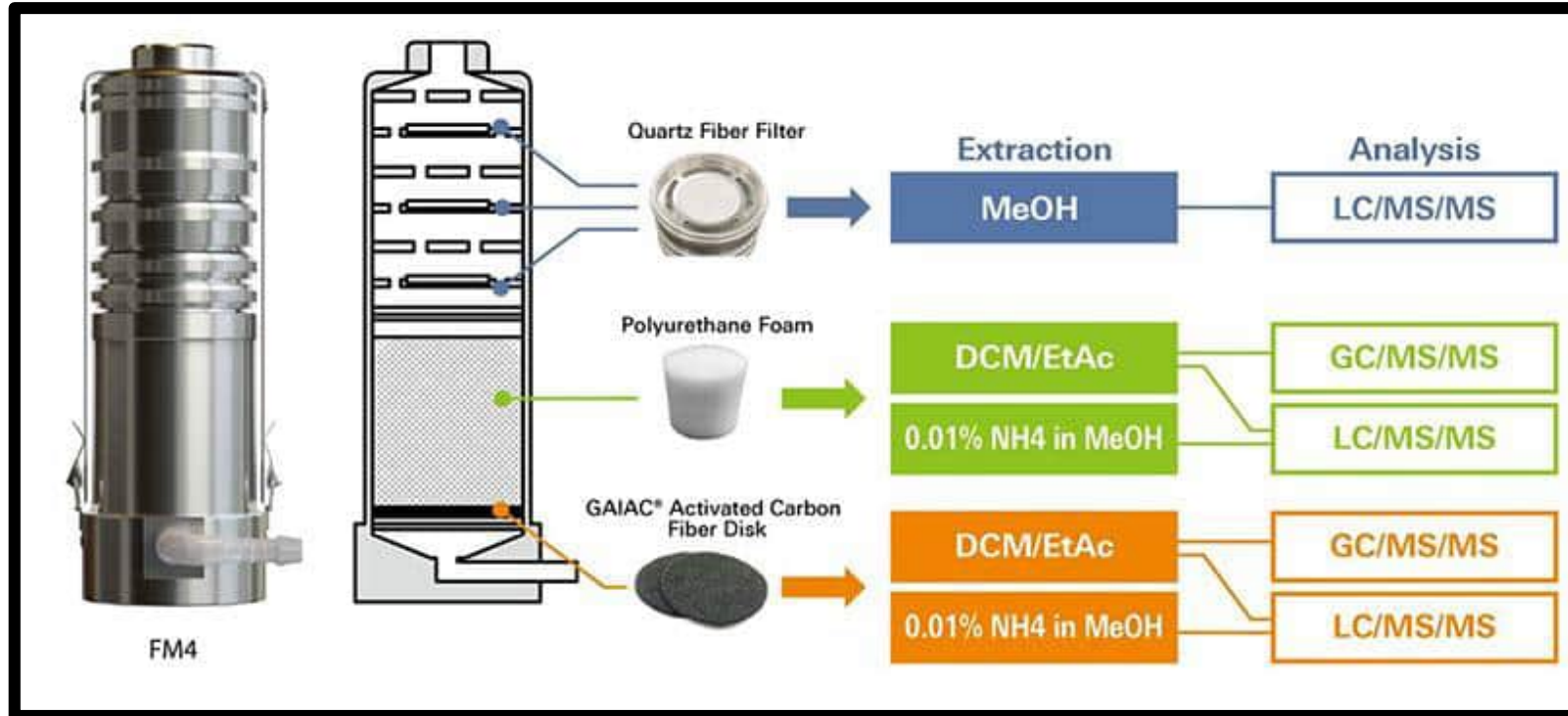
Thermal desorption tubes designed for low flow rates (desorbed in the TD Core System under He & 300°C/ GERSTEL) and filled with Tenax TA; active sampling was performed using a pump (SKC).

➤ Analysis:

Par. Ex.: GC-MS (SIM) / 8890 GC & 7000E GC Triple Quadrupole MS (Agilent Technologies)

- Detection of fluorotelomer alcohols in indoor environments and their relevance for human exposure. M. Schlummer et al. Environment International, Vol. 57-58, July 2013, p. 42-49. → in Indoor Air: 6:2-FTOH: 0,15 – 46,8 ng/m³ & 8:2-FTOH: 0,25 – 286 ng/m³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412013000792>
- ASTM Standard Test Method for Determination of Fluorotelomer Alcohols in Air by Thermal Desorption - Gas Chromatography Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry. Liu, X. & Z. Robbins / US-EPA (31.10.2023), ORD-056268, https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=359904&Lab=CEMM&simplesearch=0&showcriteria=2&sortby=pubDate&searchall=biosolids&timstype=
- ASTM D8591(-24): Determination of Fluorotelomer Alcohols in Test Chamber Air. Miles, L. / MARKS (03.03.2026): Application of **ASTM D8591-25**: Standard Test Method for Determination of Fluorotelomer Alcohols in Test Chamber Air by Thermal Desorption-Gas Chromatography-Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry (TD-GC-MS/MS): <https://store.astm.org/d8591-25.html> <https://markes.com/content-hub/blog/mastering-pfas-analysis-according-to-astm-d8591-a-validated-workflow-for-trace-level-ftoh-analysis>

PFAS Indoor Air Samplers (activ)

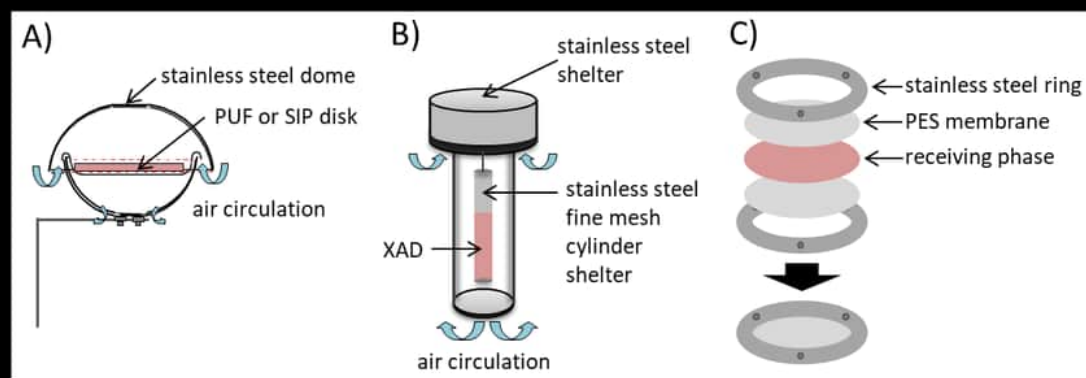


TE-200-PAS (XAD) (passiv)



FM4 :

- Quarz + MeOH
- Polyurethane Foam
- Activated Carbon



FTOHs: Echantillonnages et Analyses : Gaz du sol et Air ambiant : Europe

- Les FTOH, FASA et FASE sont les PFAS les plus détectés dans l'air.
 - Les FTOH peuvent représenter plus de 80 % des PFAS en zone urbaine.
- Ces composés **très volatils** sont des intermédiaires dans la transformation de nombreux FAS.

FASE : Perfluoroalcanes sulfonamides éthanols
FASA : Sulfonamides perfluoroalkylées
FTOH : Alcools de fluorotélomère

z.B.:

Milieu	Support – paquet AGROLAB	LQ	Paramètres
Gaz du sol	Tube thermodésorption (PNR 9662)	100 pg/support (soit 10 ng/m ³ pour 10 L)	FTOH (4:2, 6:2, 7:2, 8:2, 10:2) Analyse LC-MS/MS ²

➔ AGROLAB, EUROFINS, MERIEUX...

LSA5V - Filtre Quartz 37mm taré (cassette 3 pièces)
 Marque EUROFINS NF X 43-023



Beprobun
 g HPC
 Inter.:
 Kanton
 Zug
 (HPC)

★ Tubes: 2 phases granulaires graphitées (Carbopack Y – 90 mg / Carbopack B–115mg) suivies d'un tamis moléculaire (Carboxen 1003 – 150 mg) séparées par de la laine désilanisée

Orbo 2500 PUF-XAD2-PUF-Sandwich

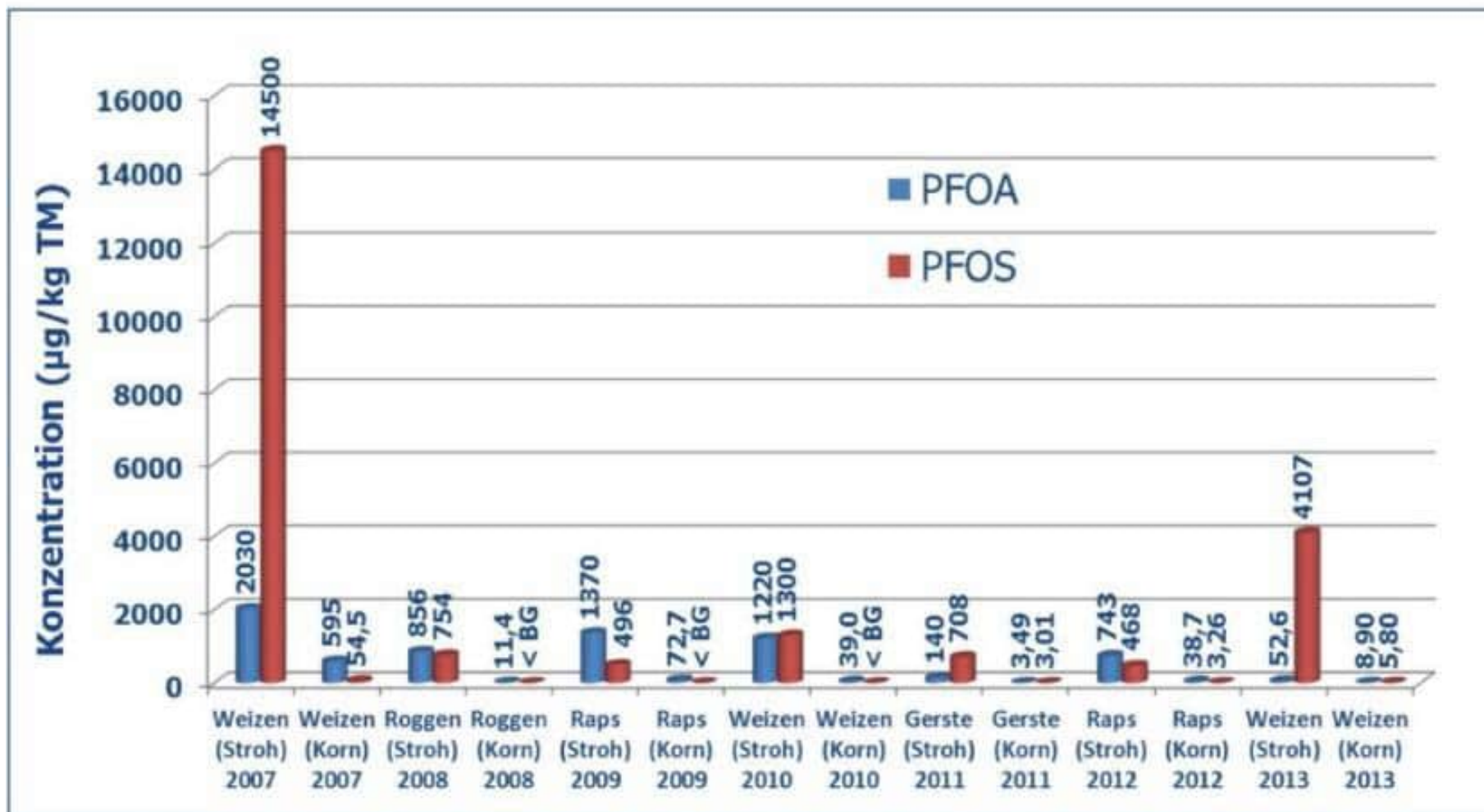
← Flüchtige PFAS (FTOH) sowie Luftstaub per GilAir (HPC International)

N813Q – ORBO 2500 pour prélèvement PFAS
 Marque SUPELCO
 Filtre Thermique pour application selon ASTM D8591-24.
 Supports destinés au prélèvement des PFAS en Air Ambiant (AIA).



ORBO™ 2500 Precleaned Large PUF/Amberlite™ XAD®-2/PUF Cartridge

Terrains agricoles après épandage des boues de STEP PFOA & PFOS dans les céréales en Allemagne



Le Guide et Fiches de la SFSE de Management des PFAS :

Afin d'aider les collectivités, industries, bureaux d'études, etc. concernés par la gestion des PFAS, la SFSE a décidé de synthétiser les informations disponibles et d'élaborer un **Guide pratique avec des Fiches thématiques :**

Fiche 8 : Comportement dans l'environnement – Paramètres physico-chimiques (base des données)

Fiche 9 : Toxicité & Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) : 08/2025

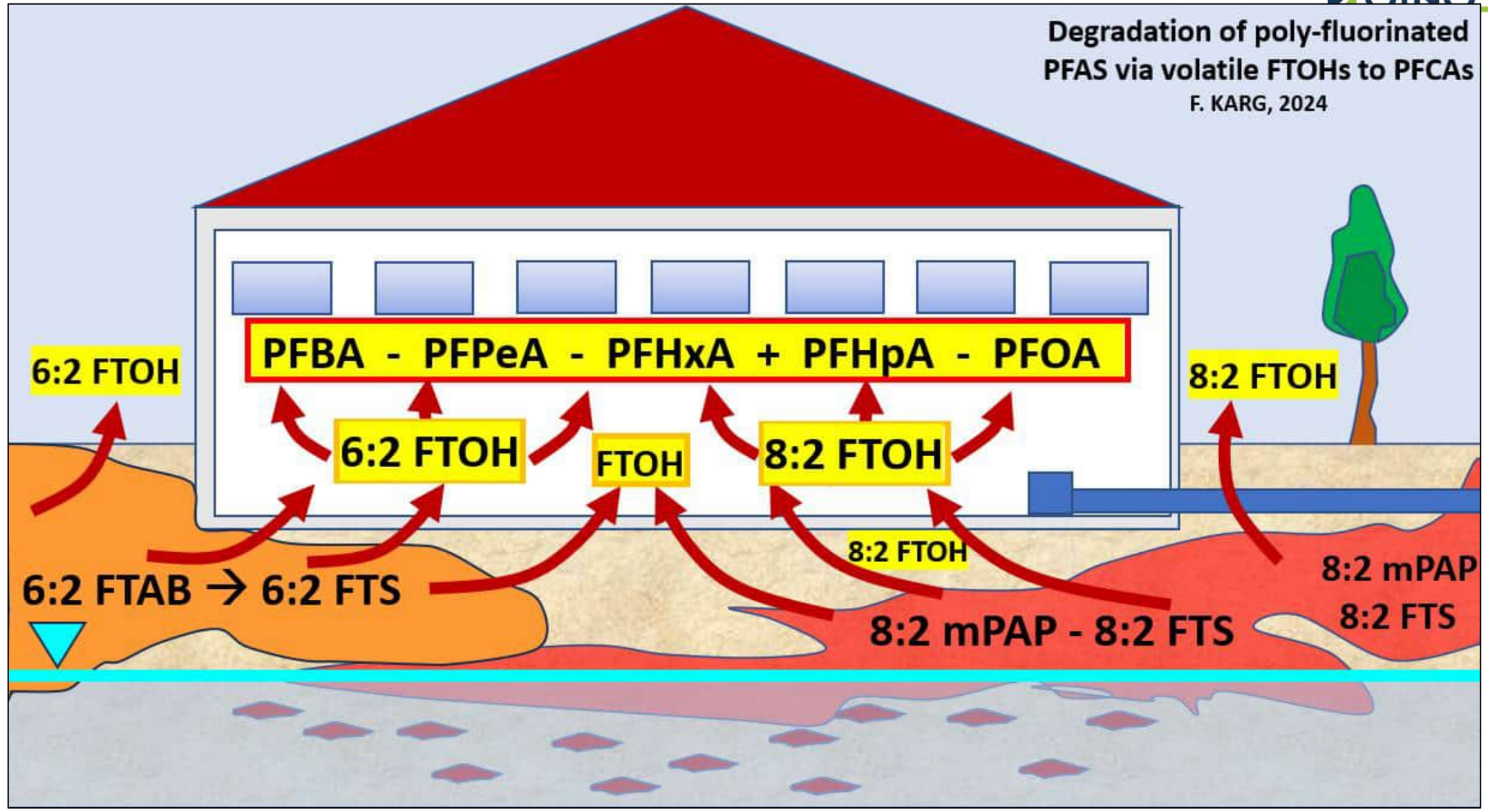
Fiche 10 : Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) et effets toxiques de mélange: 08/2025

Fiche 11 : Expositions et Données de bio-monitoring humain (HBM) : 2024

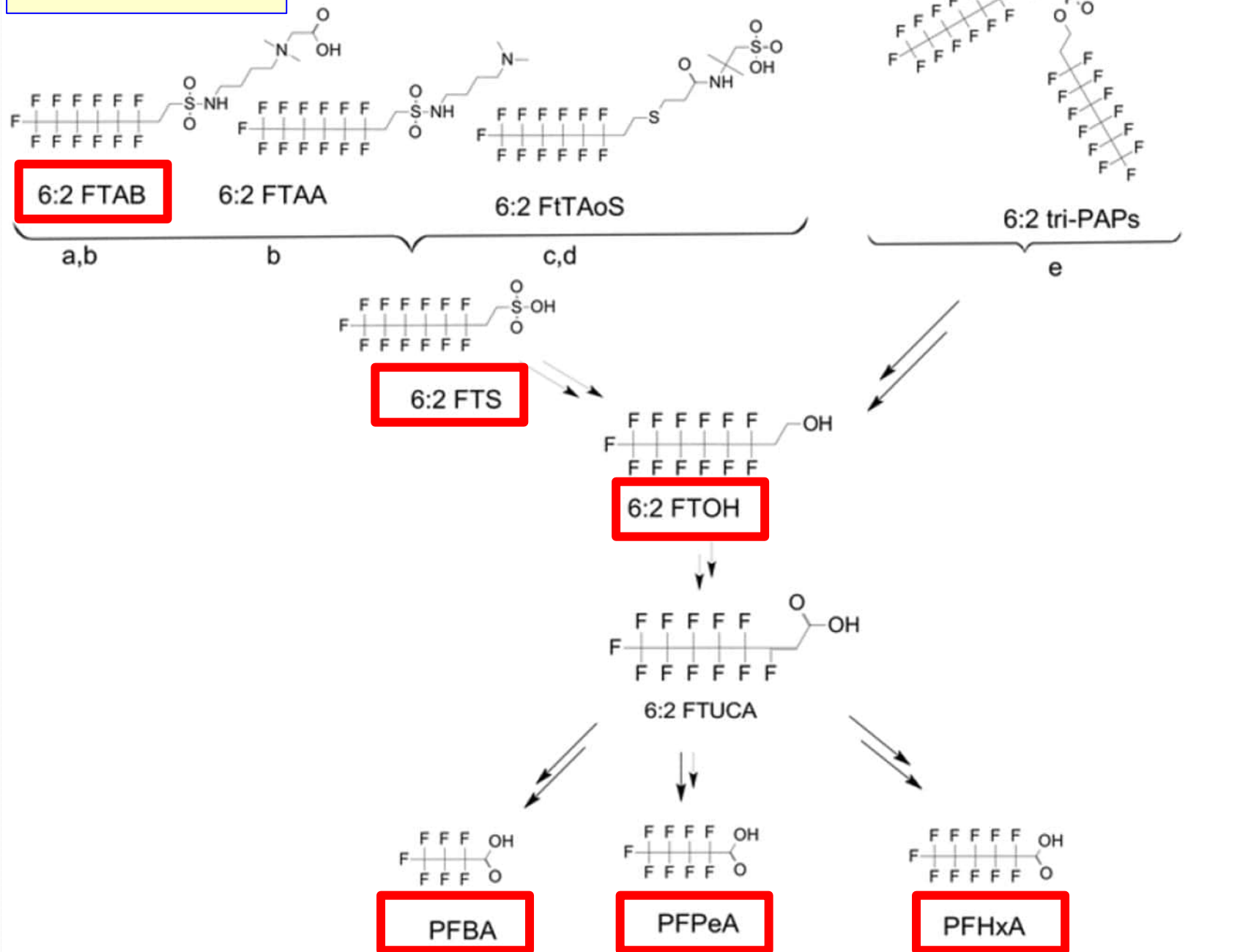
Fiche 12 : Méthodes d'assainissement - dépollution des sols: : 08/2025

Fiche 13 : Méthodes d'assainissement - dépollution des eaux souterraines : 08/2025

Fiche 14 : Méthodes d'assainissement des gaz du sol et de l'air ambiant : 08/2025



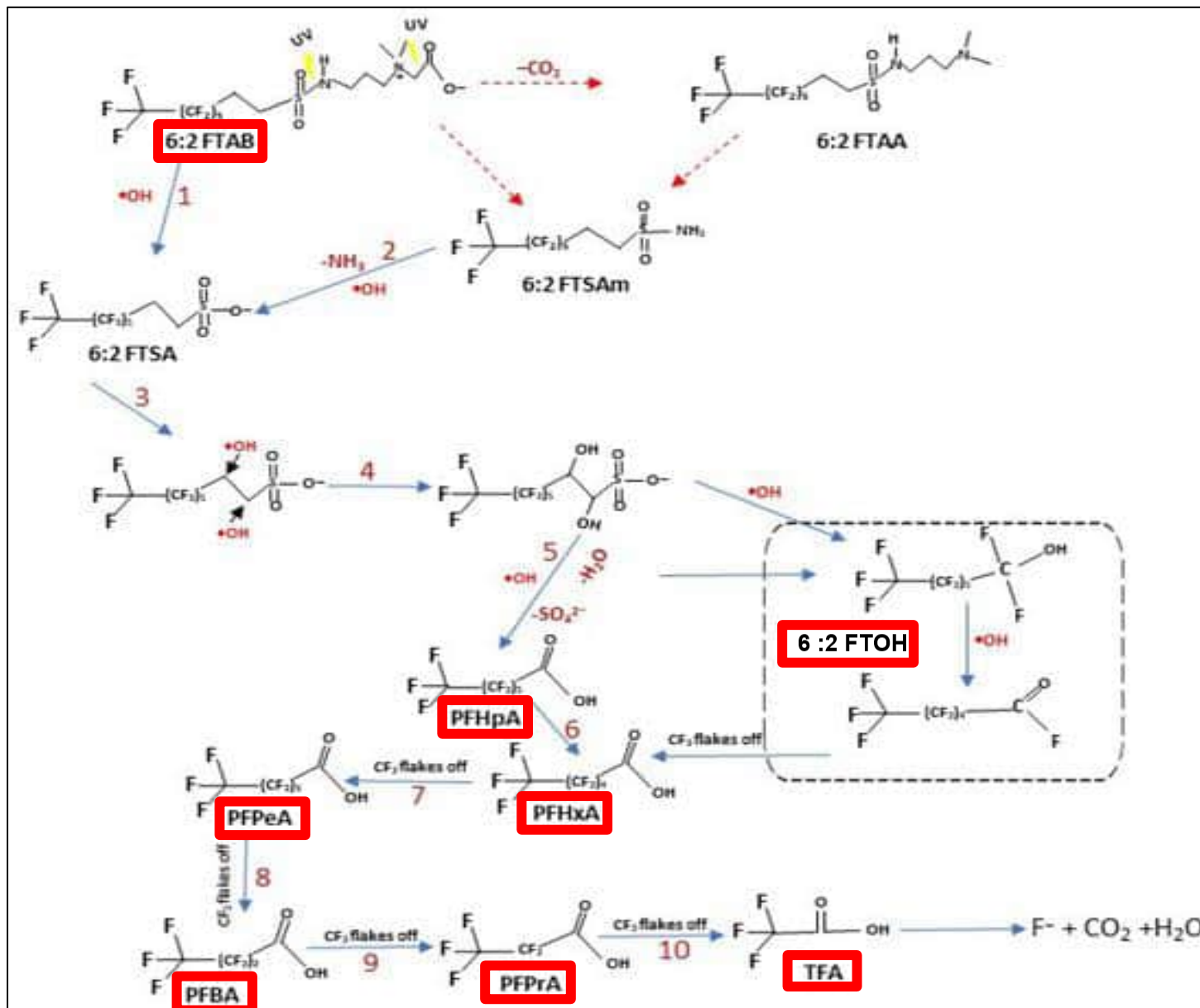
6:2-FTAB



and final
):

**6 :2 FTAB et sa
dégradation
via le 6 :2 FTS et le
6 :2 FTOH vers les
PFAS per-fluorés
PFBA, PFPeA et
PFHxA**

(LaFond et al. 2023, D.M.J.
Shaw et al. 2019 ,Ying Shi,
2018 et V. Mendeza et. al.
2022)



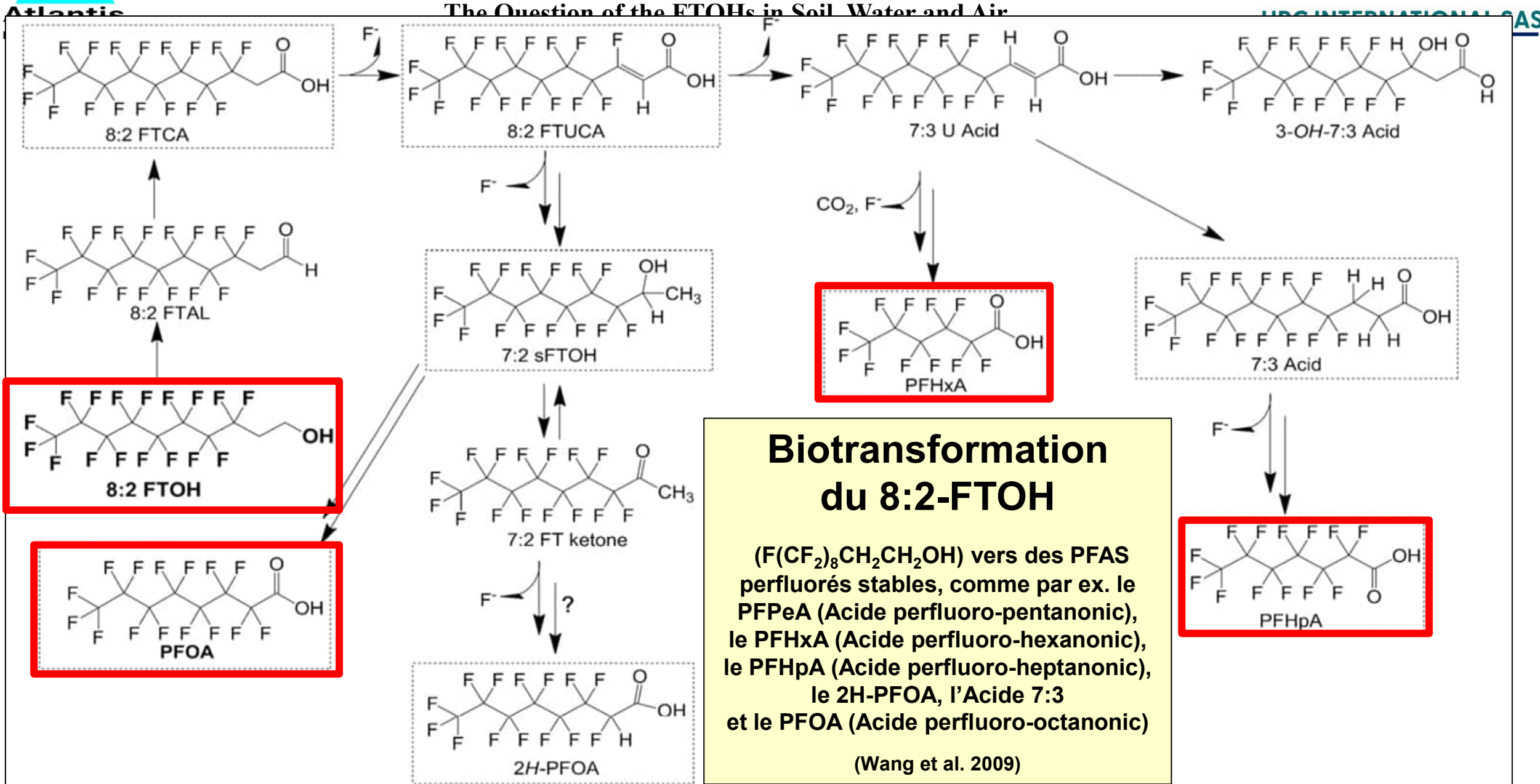
6 :2 FTAB Photolysis:

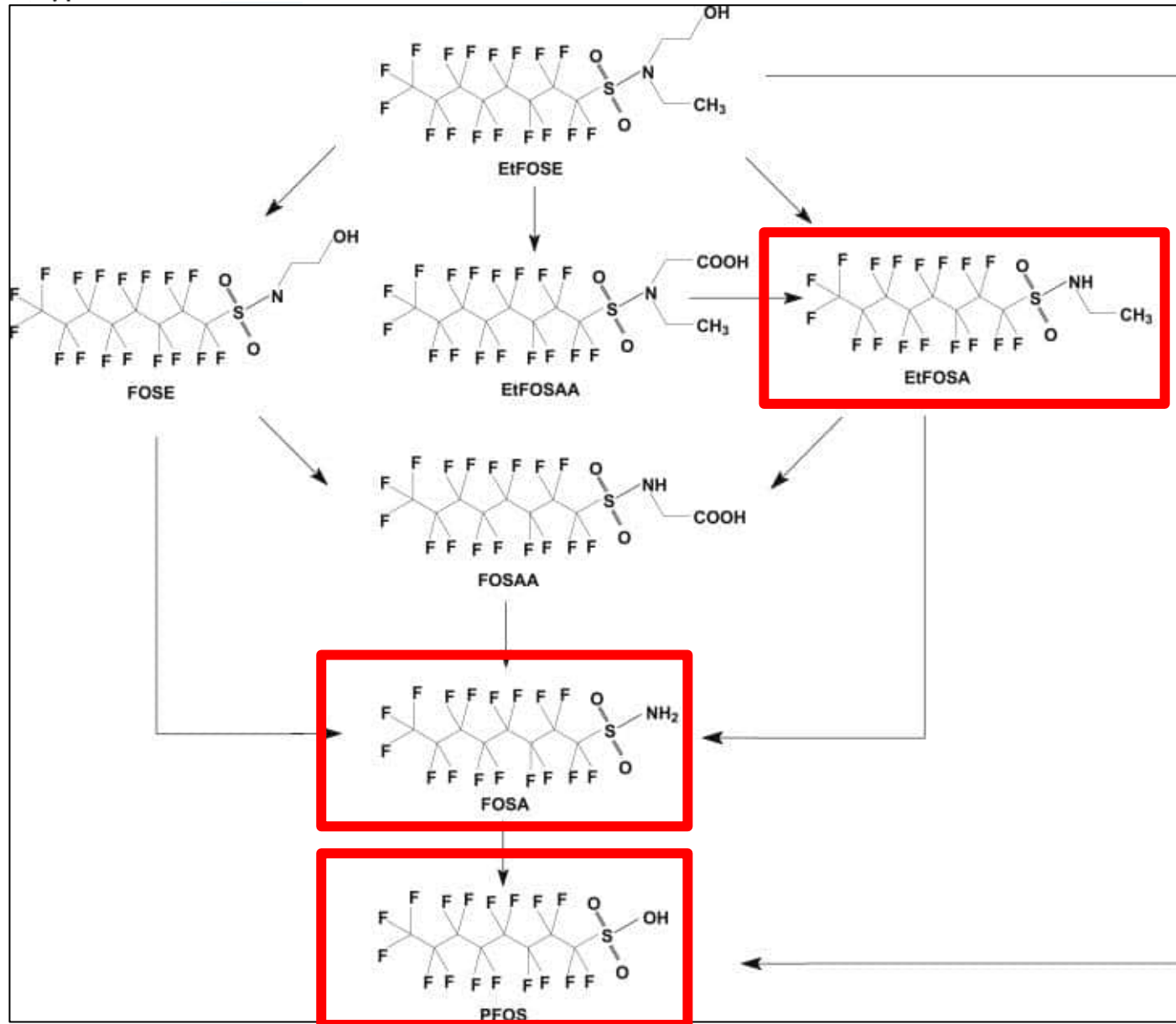
via 6:2 FTOH to
PFHxA, PFPeA, PFBA,
PFPrA & TFA

(Naveed, A. et al 2024)

Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ):

The Question of the ETOHs in Soil, Water and Air





PFAS: Chimie environnementale

Bio-transformation
du EtFOSE, EtFOSA &
FOSA vers PFOS

S. Chen et al. 2021

Scotchban FC 807

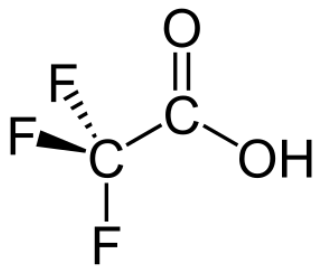
= 100 % EtFOSA

**Impregnation des
papiers et textiles**

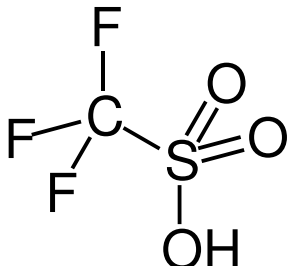
PFOS

PFAS : Chimie Environnementale

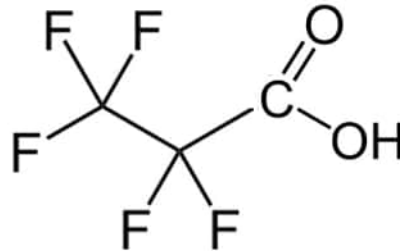
Autres PFAS (semi) volatils



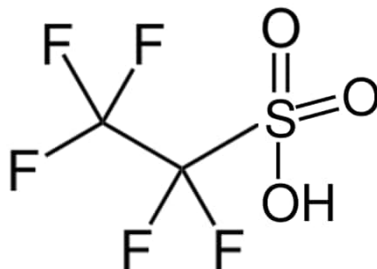
TFA



TFMS

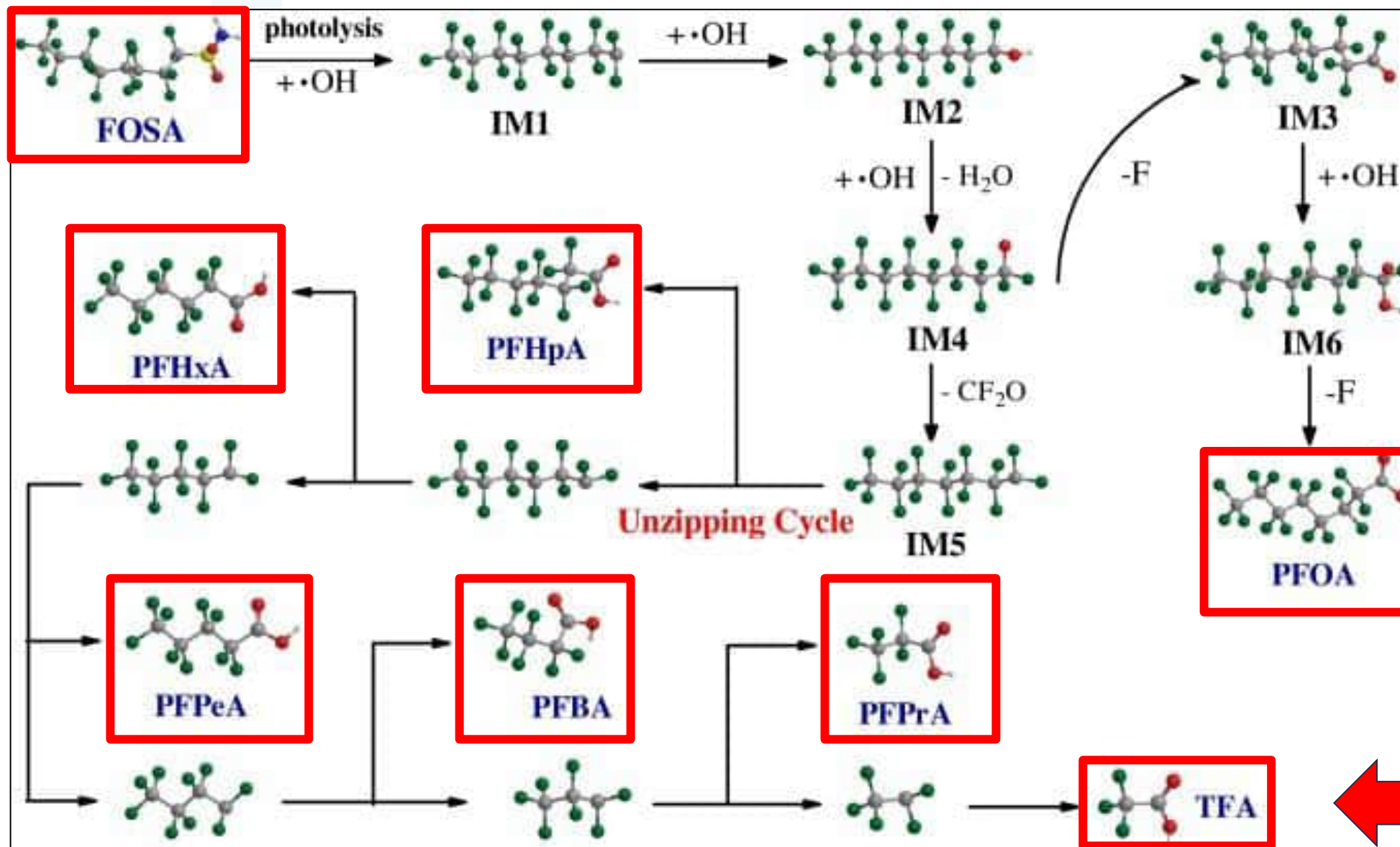


PFPrA



PFES

- **FTOH: Fluorotelomère-alcools** (par ex. les 4:2-FTOH, 4:3-FTOH, 6:2-FTOH, 6:3-FTOH, 8:2-FTOH, 10:2-FTOH),
- **FASE: Per-fluoroalkane-sulfamide-ethanole** (par ex. N-MeFOSE, N-EtFOSE),
- **FTI: Fluorotelomère-iodite** (par ex.. 6:2-FTI, 8:2-FTI, 10:2-FTI),
- **FTAC: Fluorotelomère-acrylates** (par ex. 4:2-FTAC, 6:2-FTAC, 8:2-FTAC, 10:2-FTAC),
- **FTMACS: 6:2-Fluorotelomère-méthyl-acrylates** (par ex. 4:2-FTMAC, 6:2-FTMAC, 8:2-FTMAC, 10:2-FTMAC),
- **PFADiI: Perfluoroalkyl-di-iodites** (par ex. PFBuDiI, PFHxDiI, PFODiI),



Transformation
photochimique
du FOSA vers
PFOA, PFNA,
PFHpA, PFHxA,
PFPeA, PFBA,
PFPrA, TFA

Y. Wang 2020

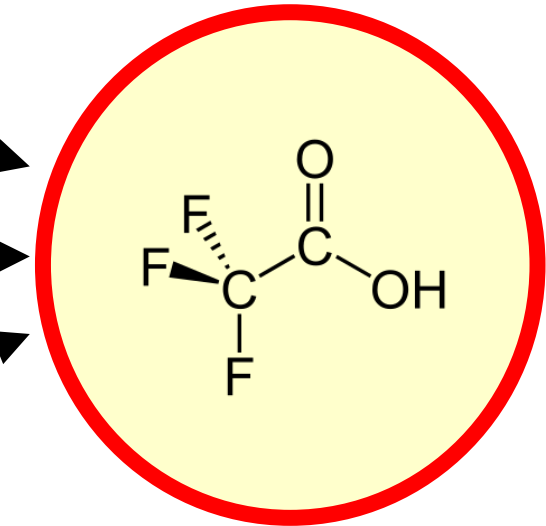
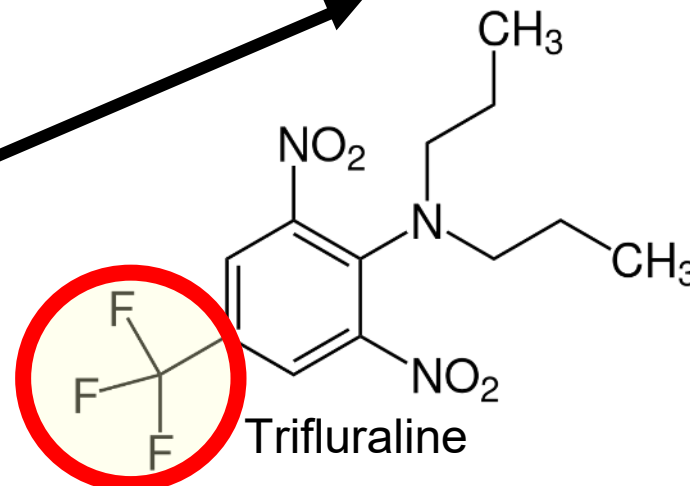
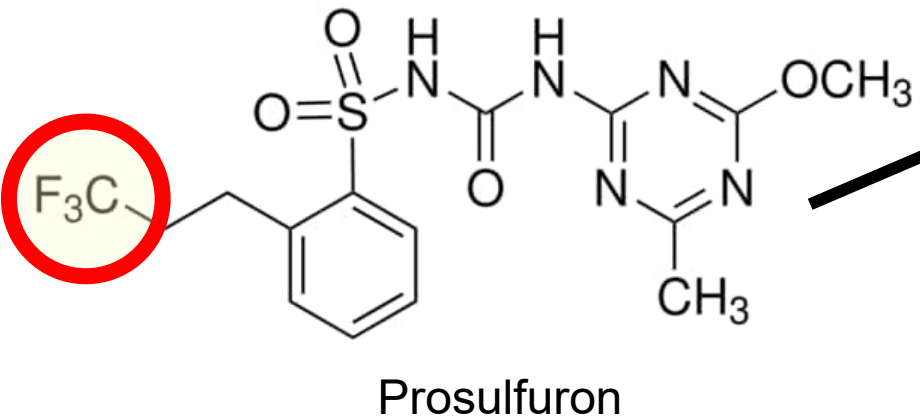
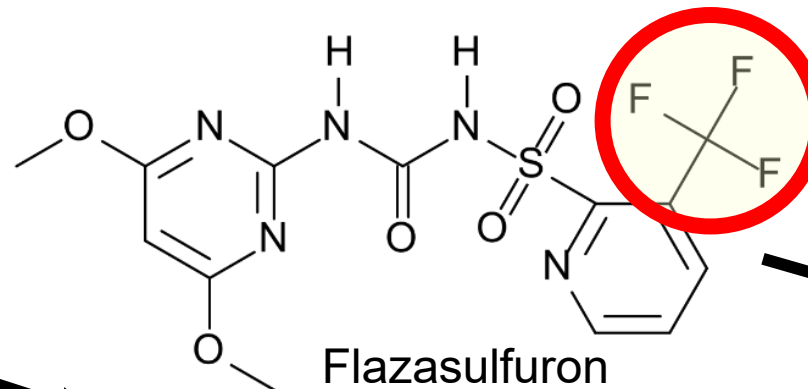
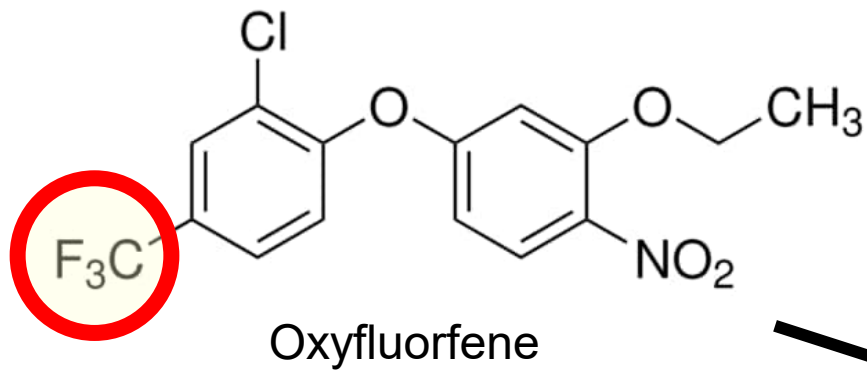
TFA

PFAS : Environmental Chemistry

Creating of TFA by Pesticide Photolysis: Examples (4/500)

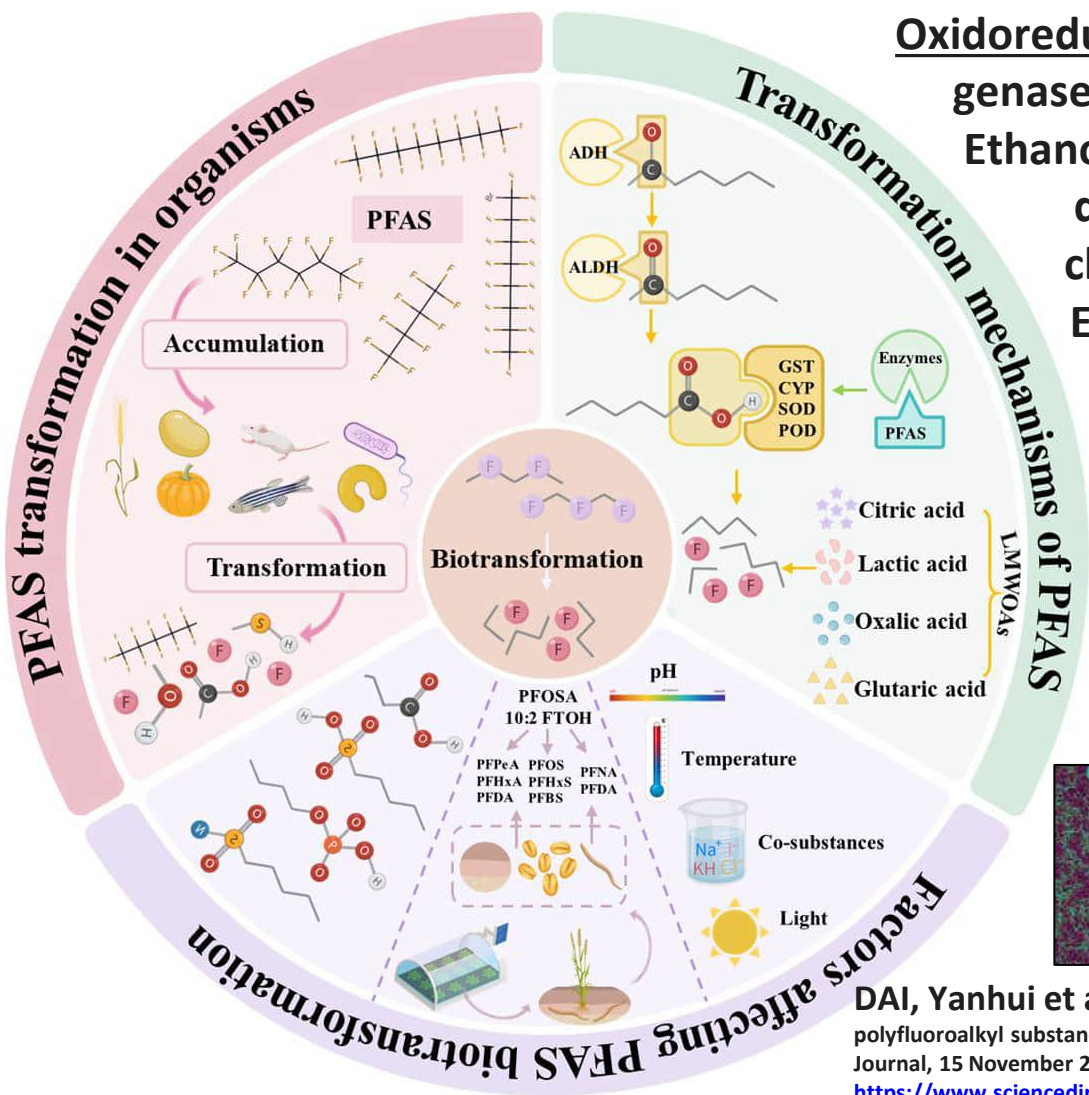
TDI (ADI) / VTR:

- TDI UBA_{Germany}: 18 µg/kg/d (2021)
- RfD: EPA-Haw.: 63 µg/l (2024)
- ADI: EFSA: 50 µg/kg/d (2014)
- Drinking Water: UBA_G: 60 µg/l



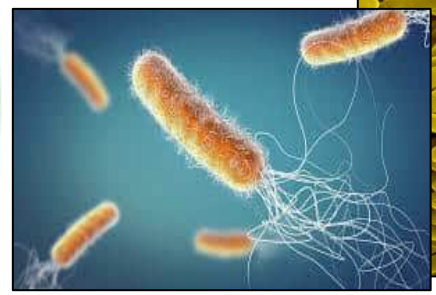
Frank KARG: 2026

Bio-Lysimeter Tests on AFFFs' Biotransformation:



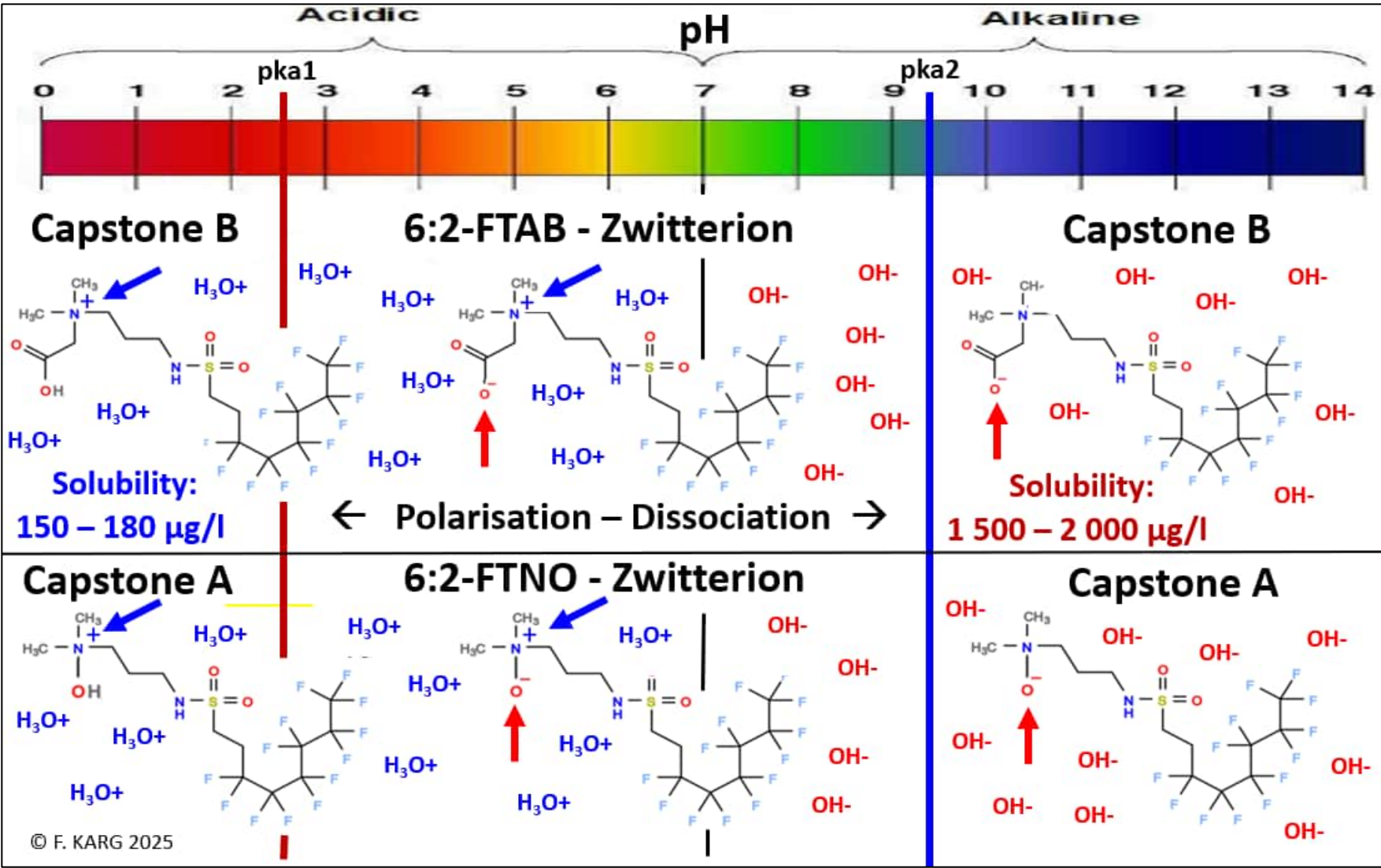
Oxidoreductases in PFAS metabolism: Dehydrogenases, Oxidases, Peroxidases, Oxygenases, Ethanol dehydrogenase (ADH) and aldehyde dehydrogenase (ALDH) and Laccases, a class of multi-copper oxidases = Critical Enzymes in the transformation of PFAS (e.g., 8:2 FTOH, etc.).

HPC International:



Type	Comptage après développement	Prélèvement réalisé par colonne	Nb bactéries
Pseudomonas aeruginosa	1,72.10 ¹⁰ bact/mL	1,16 mL	2.10 ¹⁰ bact
Pseudomonas putida	3,60.10 ¹⁰ bact/mL	0,56 mL	2.10 ¹⁰ bact
Pseudomonas oleovorans	1,68.10 ¹⁰ bact/mL	1,19 mL	2.10 ¹⁰ bact
Acidimicrobium ferrooxidans	2,00.10 ¹⁰ bact/mL	1 mL	2.10 ¹⁰ bact
Rhodococcus jostiiRhodococcus	4,00.10 ¹⁰ bact/mL	0,5 mL	2.10 ¹⁰ bact
			2.10 ⁿ bact

DAI, Yanhui et al. (2025): Biotransformation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in organisms. Chemical Engineering Journal, 15 November 2025, Article: 168618, Volume: Volume 524.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894725094604>



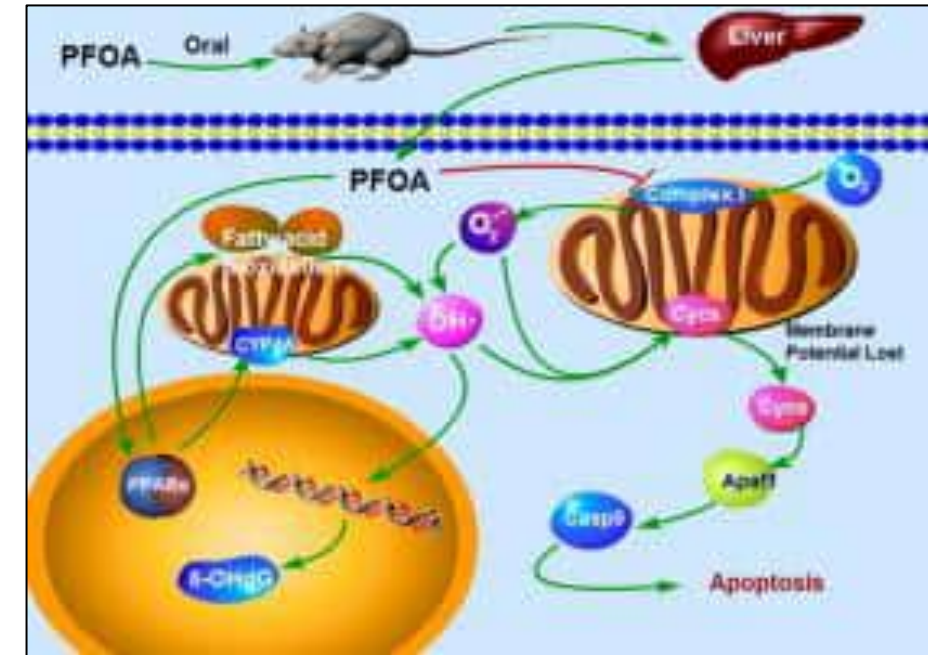
Environmental Chemistry according pH of Capstone A & B

Solubilization & Evaporation reinforced in alkaline conditions
Biotransformation via FTOHs reinforced in aerobic conditions



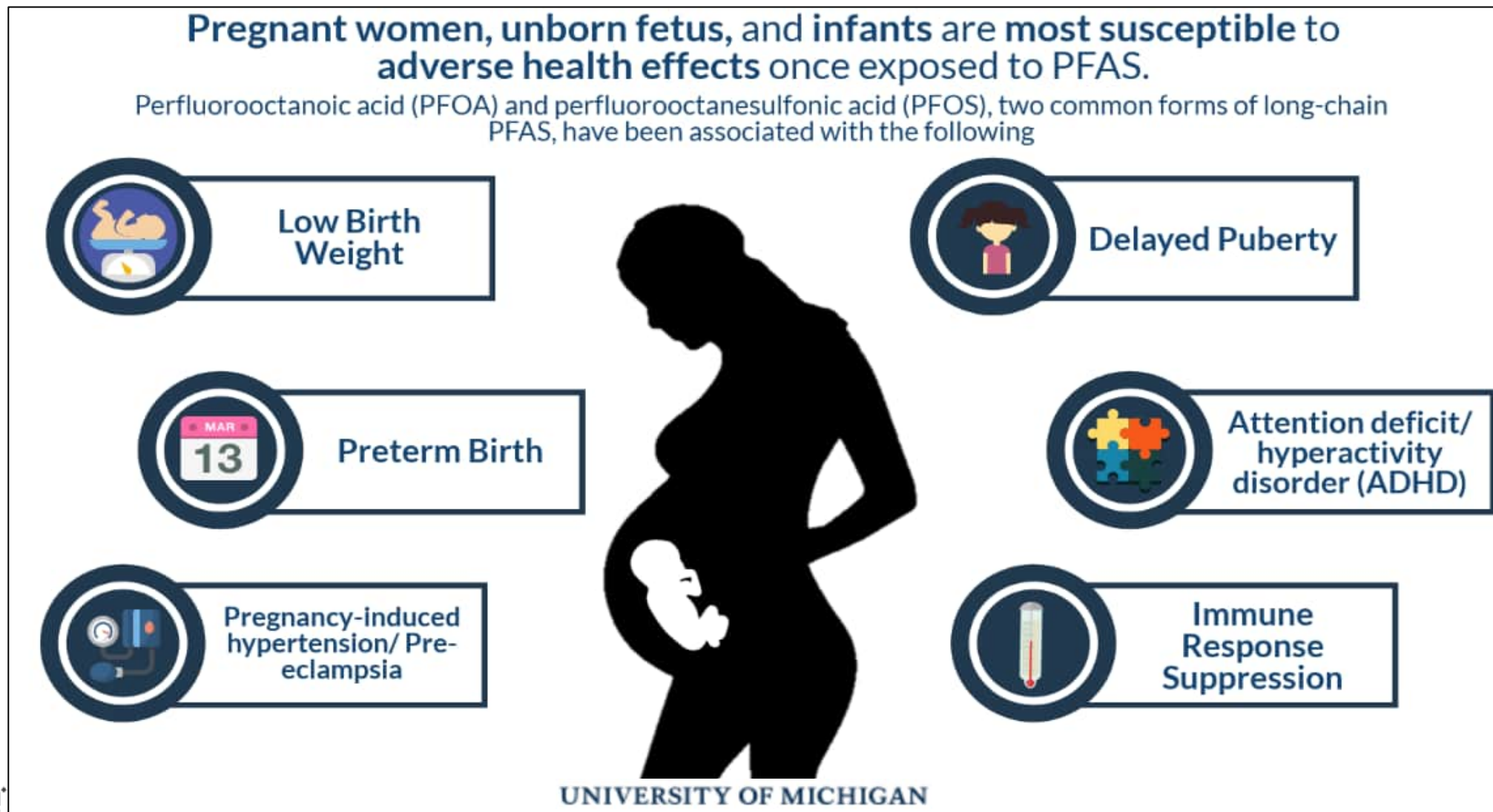
Toxicologie : Par ex. PFOA et PFOS:

- **Perturbations endocriniennes** (sur la production d'hormones stéroïde et la diminution des taux de testostérone, etc.): PFOS + FTOH (Alcools fluoro-télomériques),
- **Cancérogénicité**: Développements du Cancer des Seins & Testicules (PFOA...), Cellules épithéliales : PFOA + PFOS → blocage de l'apoptose !
- **Tératogénicité** (par ex.: via les taux d'androgènes ou d'hormones thyroïdiennes anormaux, ...),
- **Immunotoxicité** (via des effets thyroïdiens et sur le système immunitaire, gamma-globulines),
- **Neurotoxicité** (troubles d'hyperactivité, etc.). De même que d'autres troubles neurologiques peuvent en résulter.



Molecular mechanisms of PFOA-induced Toxicity

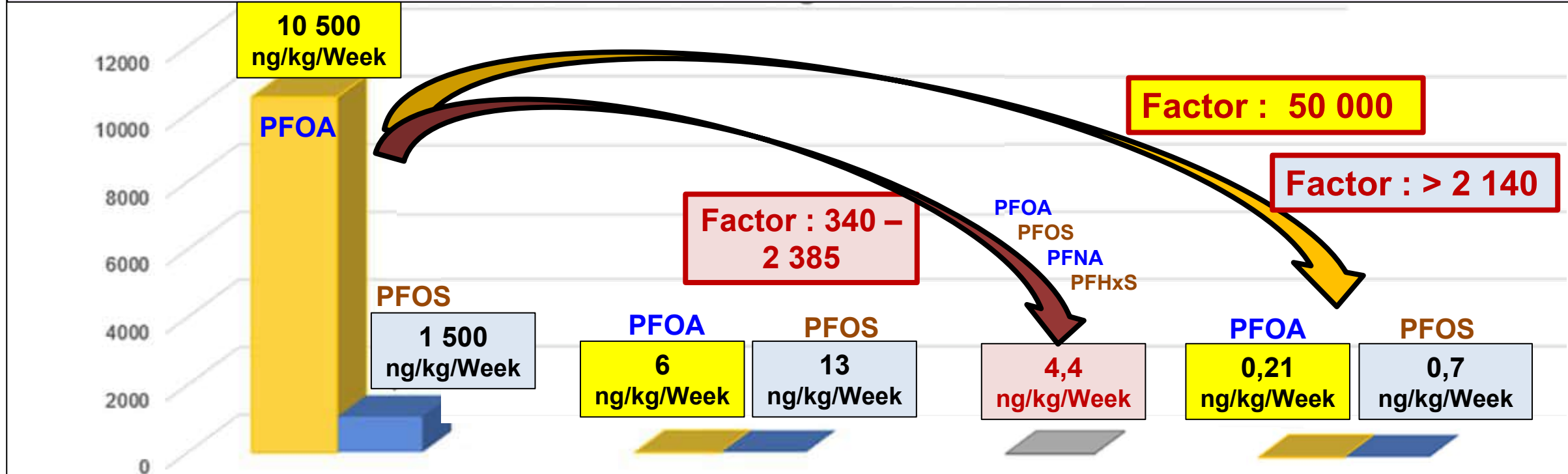
Effets Toxicologiques des PFAS surtout dans les zones de forte activité endocrinienne :



[illegible]

VTR: EFSA & US-EPA : PFOA & PFOS : Consideration of Higher Toxicity

TWI & TDI: Tolerable Weekly & Daily Intake: 2008 – 2020 & 2024



EFSA : 17/09/2020

<https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

■ PFOA

■ PFOS

□ Summe (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS)

© LHL



Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final
Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ):
The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.



VTR internationales : 1/2

DJT &
UR - SF

- ANSES:** Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail / France (2017)
- ATSDR:** Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- EFSA:** European Food and Safety Authority (EC)
- IRIS :** Integrated Risk Information of Substances (U.S.-EPA)
- UBA :** Umweltbundesamt (Germany)
- BfR:** Bundesinstitut für Risikobewertung (Germany)
- OEHHA :** Office of Environmental Health Hazard Assessment
- WHO:** World Health Organization (OMS)
- RIVM :** Netherlands Environmental & Health Institute
- MDHHS:** Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health
- TCEQ:** Texas Commission on Environmental Quality
- NJ-DWQIHES:** New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee
- Bil, W. et al. 2020 :** Toxicological Equivalence factors on PFOA RfD
- SLU:** Swedish University of Agricultural Sciences

Subst.	CAS Nr.	Cancero-genic / not can-cero-genic	Chronic toxicological value			Testing Species / Study Type	Sigle	Security Factor & Origin	Organi-sation
			Exposure pathway	Target organ	Value				
PFBA	375-22-4	NC	oral	Hepatic	1 µg/kg/d	Rate	RfD	POD _{HED} / 900	TCEQ 2023 US-EPA IRIS 2022
			inhalation	Hepatic	3,5 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFPeA	2706-90-3	NC	oral	Hepatic	0,5 µg/kg/d	Rate	RfD	POD _{HED} / 90	TCEQ 2023
PFHxA	307-24-4	NC	oral	Hepatic	0,5 µg/kg/d	Rate	RfD	POD _{HED} / 90	TCEQ 2023 US-EPA IRIS 2023
PFHpA	375-85-9	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rate	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017 TCEQ 2023
PFOA	335-67-1	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rate	TDI	BMDL 5	UBA 2023 BFR & EFSA 2018
				Hepatic, Mammar, Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RfD	LOAEL / (81 * 300)	TCEQ 2023
				Immune, develop-mental and cardio-vascular	0,03 ng/kg/d	<u>Epidemi-ologic</u>	RfD	<u>Several</u> studies	US-EPA 2024 [7]
			inhalation	Hepatic	4,1 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81 * 3 000)	TCEQ 2023
		C	oral	Testicular tumors	2,52 x 10 ⁻⁶ (ng/kg/d) ⁻¹	<u>Epidemi-ologic</u>	SF	-	New Jersey 2017
				Renal Cell Carcinoma	0,0293 (ng/kg/d) ⁻¹	<u>Epidemi-ologic</u>	SF	-	US-EPA 2024 [7]
PFNA	375-95-1	NC	oral	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	US-EPA IRIS 2019 / New Hampshire DES 2019
			inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81 * 30 000)	US-EPA IRIS 2019 TCEQ 2023
PFBS	375-73-5	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfC	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2023
			inhalation		4,9 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2023

Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.

VTR internationals : 2/2

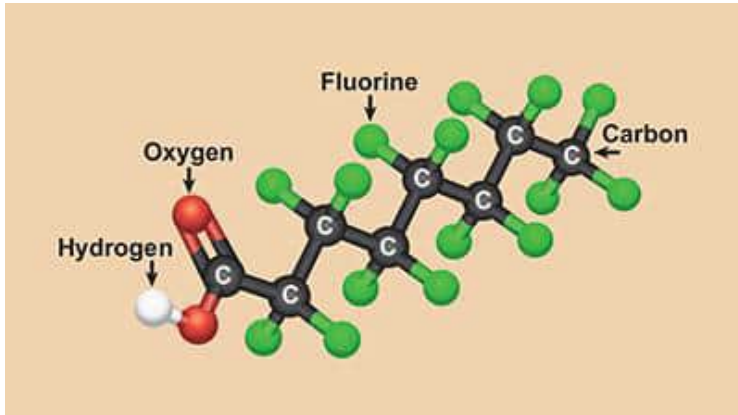
**DJT &
UR - SF**

- ANSES:** Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail / France (2017)
- ATSDR:** Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- EFSA:** European Food and Safety Authority (EC)
- IRIS :** Integrated Risk Information of Substances (U.S.-EPA)
- UBA :** Umweltbundesamt (Germany)
- BfR:** Bundesinstitut für Risikobewertung (Germany)
- OEHHA :** Office of Environmental Health Hazard Assessment
- WHO:** World Health Organization (OMS)
- RIVM :** Netherlands Environmental & Health Institute
- MDHHS:** Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health
- TCEQ:** Texas Commission on Environmental Quality
- NJ-DWQIHES:** New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee
- Bil, W. et al. 2020 :** Toxicological Equivalence factors on PFOA RfD
- SLU:** Swedish University of Agricultural Sciences

Subst.	CAS Nr.	Cancero-genic / not can-cero-genic	Chronic toxicological value			Testing Species / Study Type	Sigle	Security Factor & Origin	Organi-sation
			Exposure pathway	Target organ	Value				
PFDA	335-76-2	NC	oral	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (81 * 1 000)	TCEQ 2023
				Immune / developmental	0,002 ng/kg/d	Rate	RfD	BMDL / 30	US-EPA IRIS 2024
			inhalation	Hepatic	53 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFHxS	355-46-4	NC	oral	Hematologic and thyroidal	3,8 ng/kg/d	Rate	RfC	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2023
			inhalation		13 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2023
PFHpS	375-92-8	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	1763-23-1	NC	oral	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
				Decreased birth weight and increased cholesterol	0,1 ng/kg/d	Human epidemiologic	RfD	POP / 10	US-EPA 2024
			inhalation	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2023
		C	oral	Hepatic	39,5 (mg/kg/d) ⁻¹	Rate	SF	-	US-EPA 2024
PFOSA	754-91-6	NC	oral	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	As PFOA: NOAEL / (81 * 300)	TCEQ 2023
			inhalation		4,1 ng/m ³	Rate	RfC	As PFOA NOAEL/ (81 * 3 000)	TCEQ 2023
6:2-FTOH	647-42-7	NC	oral	Hepatotoxic	43 ng/kg/d	Rate	RfD	RPF based on PFOA's RfD x 0,02	RIVM / Bil et al. 2020 & 2021
8:2-FTOH	678-39-7	NC	oral	Hepatotoxic	21,5 ng/kg/d	Rate	RfD	RPF based on PFOA's RfD x 0,04	RIVM / Bil et al. 2020 & 2021
			oral		1,5 x 10 ³ ng/kg/d	Rate	RfD	RfD assimilated to PFOA transformation Product 8:2-FTOH & Inhalation: 20 m ³ /d	SLU 2018 (Sweden) (Ingestion based on EFSA 2008)

VTR : Facteurs d'équivalence de toxicité Exemple: W. Bil et al. (2020-2021):

**RPF : Relative Potency Factors,
Basés sur une Equivalence toxico-
logique par rapport au PFOA**



**Attention: Les RPFs sont
seulement utilisables pour
l'hépatotoxicité !**

Per- and polyfluorinated congeners	RPF
Sulfonic acids	
PFBS	0.001
PFPeS*	$0.001 \leq \text{RPF} \leq 0.6$
PFHxS	0.6
PFHpS*	$0.6 \leq \text{RPF} \leq 2$
PFOS	2
PFDS*	2
Carboxylic acids	
PFBA	0.05
PFPeA*	$0.01 \leq \text{RPF} \leq 0.05$
PFHxA	0.01
PFHpA*	$0.01 \leq \text{RPF} \leq 1$
PFOA	1
PFNA	10
PFDA*	$4 \leq \text{RPF} \leq 10$
PFUnDA	4
PFDODA	3
PFTTrDA*	$0.3 \leq \text{RPF} \leq 3$
PFTeDA	0.3
PFHxDA	0.02
PFODA	0.02
Ether carboxylic acids	
HFPO-DA	0.06
ADONA	0.03
Telomer alcohols	
6:2 FTOH	0.02
8:2 FTOH	0.04

* RPF values using relative liver weight increase as input. RPFs are presented for 14 perfluoroalkyl acids (PFAAs) and two PFAA precursors (the telomer alcohols).

*RPF based on read-across.

Abkürzung	Substanz	CAS-Nummer	TEF
PFBA	Perfluorbutansäure	375-22-4	0.05
PFPeA	Perfluorpentansäure	2706-90-3	0.05
PFHxA	Perfluorhexansäure	307-24-4	0.01
PFHpA	Perfluorheptansäure	375-85-9	1
PFOA	Perfluoroctansäure	335-67-1	1
PFNA	Perfluornonansäure	375-95-1	10
PFDA	Perfluordecansäure	335-76-2	10
PFUnDA	Perfluorundecansäure	2058-94-8	4
PFDoDA	Perfluordodecansäure	307-55-1	3
PFTTrDA	Perfluortridecansäure	72629-94-8	3
PFTeDA	Perfluortetradecansäure	376-06-7	0.3
PFHxDA	Perfluorhexadecansäure	67905-19-5	0.02
PFODA	Perfluoroctadecansäure	16517-11-6	0.02
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure	375-73-5	0.001
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure	2706-91-4	0.6
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure	355-46-4	0.6
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure	375-92-8	2
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure	1763-23-1	2
PFDS	Perfluordecansulfonsäure	335-77-3	2
HFPO-DA (GenX)	Perfluor(2-propoxypropansäure)	62037-80-3	0.06
ADONA	Perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonansäure	958445-44-8	0.03
6:2-FTOH	6-2 Fluortelomeralkohol	647-42-7	0.02
8:2-FTOH	8-2 Fluortelomeralkohol	678-39-7	0.04
Capstone B	Capstone B	34455-29-3	0.001
Capstone A	Capstone A	80475-32-7	0.05
PFOSA (=FOSA)	Perfluoroctansulfonamid	754-91-6	2
4:2-FTS	4:2-Fluortelomer-sulfonsäure	757124-72-4	0.2
6:2-FTS	6:2-Fluortelomer-sulfonsäure	27619-97-2	0.2
8:2-FTS	8:2-Fluortelomer-sulfonsäure	39108-34-4	1
PFNS	Perfluornonansulfonsäure	68259-12-1	10
EtFOSA	N-Ethylperfluoroctansulfonamid	4151-50-2	2
MeFOSA	N-Methylperfluoroctansulfonamid	31506-32-8	2
EtFOSAA	N-Ethylperfluoroctansulfonamidoessigsäure	2991-50-6	2
MeFOSAA	N-Methylperfluoroctansulfonamidoessigsäure	2355-31-9	2

VTR / TEF : Suisse (2024)

Facteurs d'Equivalence de toxicité



**Attention: Les RPFs sont
seulement utilisables pour
l'hépatotoxicité !**

Evaluation des risques

A. Evaluation simplifié des risques :

Comparaison des concentrations environnementales avec des Valeurs guides ou limites, par ex.:

- Suisse : ESO / GW : Valeurs de Concentrations / K-Werte
Sols / Boden: Valeurs limites / Grenzwerte
- Allemagne: Prüfwerte, Massnahmenwerte, GFS.

Base: Evaluation des risques sanitaires génériques

> Umwelt-Vollzug | > Altlasten / Abfall

file:///C:/Users/fka/Downloads/herleitung_von_konzentrationswerten_undfeststoff-grenzwerten-2.pdf

> Herleitung von
Konzentrationswerten und
Feststoff-Grenzwerten

Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur
Technischen Verordnung über Abfälle



$$K\text{-Wert [mg/l]} = (RfD_o \text{ [mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}] \cdot 70 \text{ kg}) / (2 \text{ [l} \cdot \text{d}^{-1}])$$

$$K\text{-Wert [mg/l]} = (10^{-5} \cdot 70 \text{ kg}) / (SF_o \text{ [mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}]^{-1} \cdot 2 \text{ [l} \cdot \text{d}^{-1}])$$

B. Evaluation quantitative des risques Sanitaires (EQRS & TERQ)

- Prise en compte des VTR actualisées et sélectionnées,
- Scénarios et voies d'expositions spécifiques,
- Cocktails des polluants spécifiques, etc.



Critères de choix des VTR

Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.

No	<u>TRD: Toxicological Reference Dose</u> <u>Choice Criteria</u>	Appreciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion
1	Variability of indicated TRD	(+/- 0 %)	≤ (+/- 30 %)	> (+/- 30 %)	
2	Class (potential) Carcinogenic: EC: Class 3/ US-EPA: Class B2, C / IARC: Group 1	3 Organisms : CE, US-EPA, IARC, etc.	2 Organisms	1 Organisms	
3	Several Organisms shows similar TRD (+/- 50 %)	> 3 Organisms	2 Organisms	1 Organism	
4	Age of base Study	≤ 15 a	15 – 25 a	< 25 a	
5	Mechanistic toxicological basement Study (for ex. Genotoxicity):	Epidemiology	Mammal	In-Vitro / In-silico	
6	Basement Study : Klimisch Quality Criteria	Class 1	Class 2	Class 3	Class 3
7	Verified Purity of Compound	Yes	< 95 %	No	
8	Excipient potentially toxic	No		Yes	
9	Presence of population without exposure (test witness)	Yes		No	
10	General Quality Criteria (Klimisch) of toxicological effect studies	Standardized Study (OCDE, UE, US EPA, FDA, etc.)	Standardized Study without Details, but correctly documented	Document insufficient for evaluation, systematic deficiencies	
11	POD : Point of Departure	Quantified Epidemiological Data, BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL sensitive NOAEL	LOAEL sensitive, LOAEL, Other	
12	Uncertainty (or Assessment) Factors	1 – 100	> 100 – 1000	> 1 000 – 10 000	> 10 000
13a	Transpositions: Between Exposure Pathways	No		Yes	
13b	Transposition: Animal to Human	No	Yes		
13c	Transpositions : From in-Vitro	N		Yes	
13d	Transpositions : From in-Silico	No		Yes	
14	Study time-representatively	≥ chronic (> 180 d)	sub-chronic (90 d) to c hronic (180 d)	< sub-chronic (< 90 d)	
15	Integration of bio-disponibility / Bio-resorption capacity (ex.: DIN 19 738)	Yes	Not known (100 %)	Known, but not considered	

VTR : European Community : EFSA

Weekly Tolerable Dose / Une Dose hebdomadaire tolérable (DHT): 4,4 ng/kg/Semaine (ou Dose Journalier Tolérable de: DJT) : 0,63 ng/kg/j pour des PFAS: PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS):
EFSA : 17/09/2020 <https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

- **Non prise en compte des effets génotoxiques (cancérigènes pour les PFAS & PFOA).**
- **Applicable seulement pour 5 PFAS per-fluorés**



AUTORITÉ
EUROPÉENNE DE
SÉCURITÉ DES
ALIMENTS

TOF: Total Organo Fluorine

F. KARG 2025

= PFAS Monomers & Polymers +
other organo-fluorine Compounds;
Pesticides, Pharmaceuticals, etc.
→ → → *No Compound Identification !*

AOF: Adsorbable Organic Fluorine

= PFAS Monomers & Polymers +
other organo-fluorine Compounds;
Pesticides, Pharmaceuticals, etc.
→ → *No Compound Identification !*

NTA: Non-Target Analysis = Semi-quantitative Identification of up to
12 000 Compounds: PFAS Monomers

QTA: Quantitative Target
Analysis = up to 20-700 Com-
pounds: PFAS Monomers

QTA+TA; after TOP Assay (20-
200 Compounds: PFCA including
transformed polyfluorinated PFAS)

PFAS Analyses

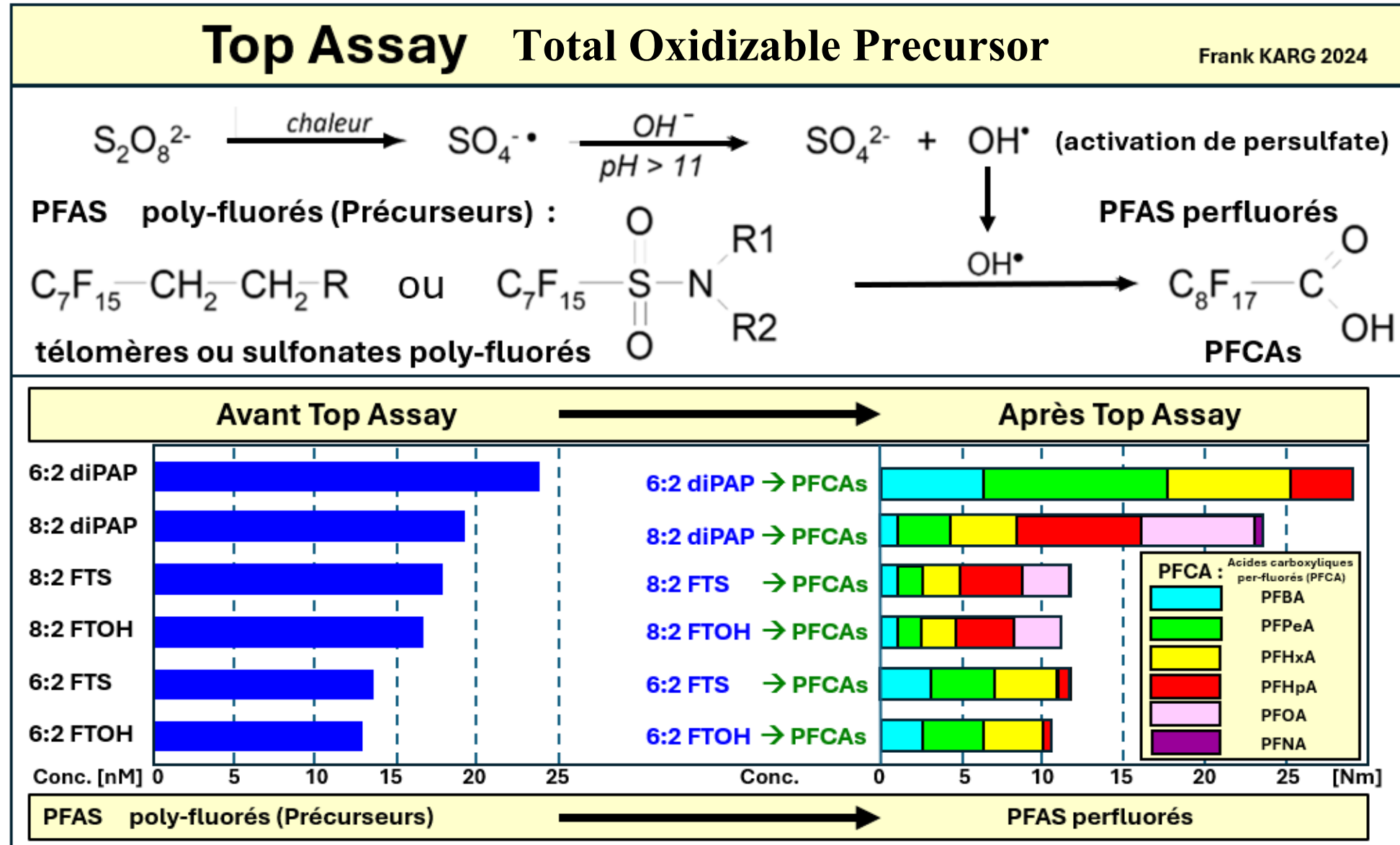
Paramètres pour les Analyses des PFAS recommandés (min.)

66 + 5 PFAS ultrashorts

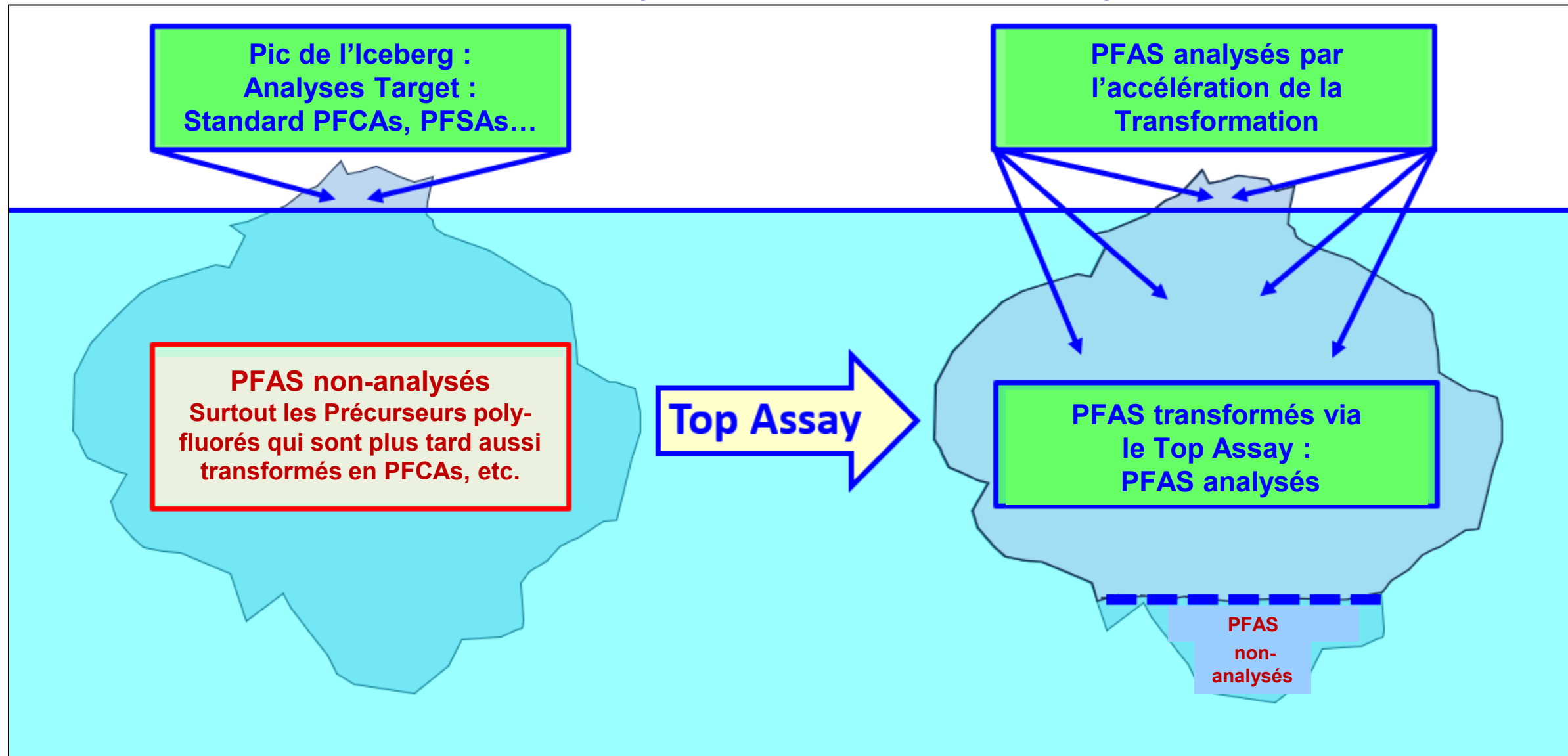
PFAS	LQ Eaux		CAS	VTR	Dir. CE EP2020/ 2184	AM 20/06/23 France
PFBA (acide perfluorobutanoïque)	ng/l	1	375-22-4			
PFPeA (acide perfluoropentanoïque)	ng/l	5	2706-90-3			
PFHxA (acide perfluorohexanoïque)	ng/l	1	307-24-4			
PFHpA (acide perfluoroheptanoïque)	ng/l	1	375-85-9			
PFOA linéaire (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1			
PFOA ramifié (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1			
PFOA totale (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1			
PFNA (acide perfluorononanoïque)	ng/l	1	375-95-1			
PFDA (acide perfluorodécanoïque)	ng/l	1	335-76-2			
PFUnDA (acide perfluoroundécanoïque)	ng/l	1	2058-94-8			
PFDoDA (acide perfluorododécanoïque)	ng/l	2	307-55-1			
PFTTrDA (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	1	72629-94-8			
PFTeDA (acide perfluorotetradécane sulfonique)	ng/l	1	376-06-7			
PFHxDA (acide perfluorohexadécane sulfonique)	ng/l	2	67905-19-5			
PFODA (acide perfluorooctadécane sulfonique)	ng/l	1	16517-11-6			
PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	1	375-73-5			
PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	1	2706-91-4			
PFHxS linéaire (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	1	355-46-4			
PFHxS ramifié (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	1	355-46-4			
PFHxS totale	ng/l	1	355-46-4			
PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	1	375-92-8			
PFOS linéaire (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1			
PFOS ramifié (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1			
PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1			
PFDS (acide perfluorodécane sulfonique)	ng/l	1	335-77-3			
4:2 FTS (acide 4:2 fluorotelomer sulfonique) H4-PFOS	ng/l	1	757124-72-4			
6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	27619-97-2			
8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	39108-34-4			
10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	120226-60-0			
MePFOSAA (acide N-méthylperfluorooctane sulfonamide acétique)	ng/l	1	2355-31-9			
EtFOSAA (acide N-éthylperfluorooctane sulfonamide acétique)	ng/l	1	2991-50-6			
PFOSA linéaire (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	2	754-91-6			
PFOSA ramifié (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	2	754-91-6			
PFOSA totale (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	2	754-91-6			
MeFOSA linéaire (N-méthylperfluorooctanesulfonamide) (MePFOSA)	ng/l	1	31506-32-8			
6:2-FTAB (6 :2 fluorotelomer sulfonamido propyl betaine) Capstone B	ng/l	10	34455-29-3			

PFAS	LQ Eaux		CAS	VTR	Dir. CE EP2020/ 2184	AM 20/06/23 France
MeFOSA ramifié (N-méthylperfluoro-n-octanesulfonamide) (MePFOSA)	ng/l	1	31506-32-8			
MeFOSA totale (N-méthylperfluoro-n-octanesulfonamide) (MePFOSA)	ng/l	1	31506-32-8			
8:2 DiPAP (8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester)	ng/l	1	678-41-1			
HFPO-DA (acide hexafluoropropyleneoxide dimer) Gen X	ng/l	1	13252-13-6			
EtFOSA linéaire (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1	4151-50-2			
EtFOSA ramifié (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1	4151-50-2			
EtFOSA totale (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1	4151-50-2			
MeFBSAA (perfluorobutanesulfonamide(N-méthyl)acetate)	ng/l	5	159381-10-9			
5:3-FTCA: 5:3 acide carboxylique fluorotélomère	ng/l	1	914637-49-3			
6:2-FTCA: 6:2 acide carboxylique fluorotélomère	ng/l	5	53826-12-3			
8:2 FTUCA (acide 2H-perfluoro-2-décenoïque)	ng/l	1	70887-84-2			
DONA (acide 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque)ADONA	ng/l	1	919005-14-4			
MeFBSA (n-méthylperfluorobutanesulfonamide)	ng/l	1	68298-12-4			
PFBSA (perfluorobutanesulfonamide)	ng/l	1	30334-69-1			
PFECHS (acide perfluoro-4-éthylcyclohexanesulfonique)	ng/l	1	646-83-3			
PFNS (acide perfluorononane sulfonique)	ng/l	1	68259-12-1			
PFDoDS (acide perfluorododécane sulfonique)	ng/l	1	79780-39-5			
6:2 diester de phosphate fluorotélomérique. 6:2 diPAP	ng/l	10	57677-95-9			
6:2 8:2 diester de phosphate fluorotélomérique. 6:2 8:2 diPAP	ng/l	10	943913-15-3			
PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	ng/l	1	41997-13-1			
PFUnDS (acide perfluoroundécane sulfonique)	ng/l	2	749786-16-1			
PFTTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	2	791563-89-8			
EtFOSE (2-(N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol)	ng/l	5	1691-99-2			
MeFOSE (2-(N-methylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol)	ng/l	5	24448-09-7			
NFDHpA (Nonafluoro-3,6-dioxaheptanoic acid)	ng/l	1	151772-58-6			
PFMPA (Perfluoro-3-methoxypropanoic acid)	ng/l	1	377-73-1			
PFMBA (perfluoro-4-methoxybutanoic acid)	ng/l	1	863090-89-5			
C6O4 (Perfluoro([5-methoxy-1,3-dioxolan-4-yl]oxy)acetic acid)	ng/l	10	1190931-41-9			
6:2-FTOH (6:2 fluorotelemer alcohol) FHET	ng/l	20	647-42-7			
8:2-FTOH (8:2 fluorotelemer alcohol) FOET	ng/l	10	678-39-7			
PFAS Ultrashorts :						
TFA (trifluoroacetic acid)	ng/l	10				
PFPrA (perfluoropropanoic acid)	ng/l	10				
TFMS (trifluoromethanesulfonic acid)	ng/l	10				
PFES (perfluoroethanesulfonic acid)	ng/l	10				
PFPrS (perfluoropropanesulfonic acid)	ng/l	10				

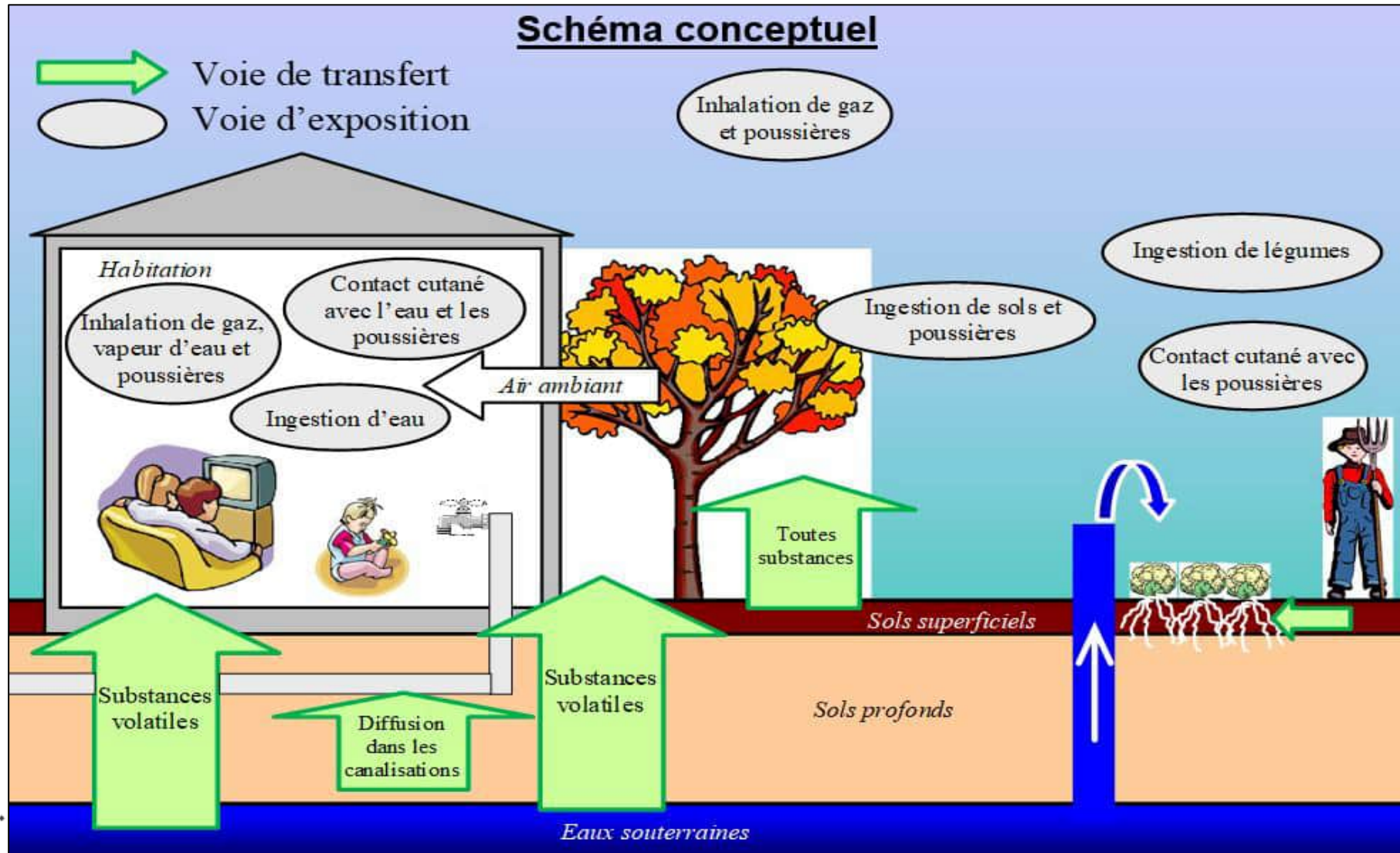
Prise en compte
de l'ensemble
des PFAS
poly-fluorés
transformables
en PFCAs per-
fluorés:



PFAS: Analyses avec et sans Top Assay



Définition des Scenarios et voies d'exposition

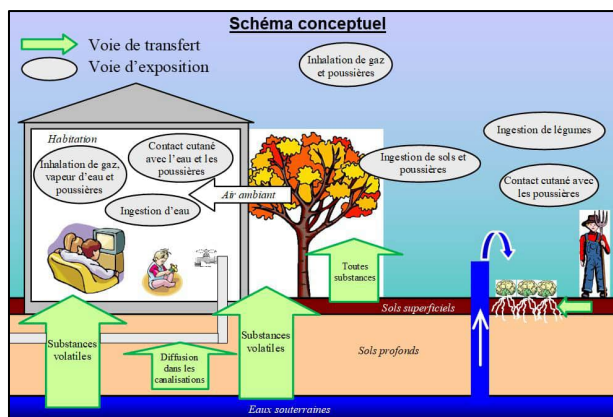


Exemple d'un schéma conceptuel:

Scénario d'exposition résidentiel

Définition des Scenarios et voies d'exposition

Scénarios d'exposition et voies d'exposition associées



(*) : par exemple dans le cas des conduites d'eau potable enterrées en sous-sol contaminé

Scénario d'exposition sur site / Voies d'exposition		Industrie et Commerce	Parcs & Loisirs / Activités sportives	Jardins d'enfants	Résidentiel collectif et Crèches & Ecoles	Agricole et production des aliments	Résidentiel avec jardins individuels
Inhalation	Respiration des Vapeurs ou gaz : Gaz du sol → Air Ambient (Intérieur & Extérieur)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Respiration des poussières	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Respiration de la vapeur contaminé pendant la douche ou d'un bain chaud*	(Oui)	(Oui)	Non	Oui	Non	Oui
Oral	Ingestion passive (Enfants & Adultes) ou active (Enfants) du sol contaminé	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Aliments autoproduits	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
	Ingestion de l'eau contaminée*	(Oui)	(Oui)	Non	Oui	Oui	Oui
Dermal	Contact direct au sol pollué	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Contact cutané: douche ou bain	(Oui)	(Oui)	Non	(Oui)	Non	Oui
	Contact cutané: bain dans les eaux superficielles ou eaux souterraines pompées contaminées	Non	Oui	Non	(Non)	(Non)	(Oui)

Quantification des DJE : Doses journalières d'Exposition : Ingestion

Ingestion de sols, d'eaux ou d'aliments

$$DJE_{ing} = Cm \cdot \frac{Q_{ing}}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot Fexa \cdot Fexj \cdot Fexv$$

- DJE_{ing} = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
 Cm = Concentration du polluants dans le médium d'exposition : C_{sol} [mg/kg],
 C_{eau} [mg/l], C_{aliment} [mg/kg]
 Qi = Quantité ingérée de sol et/ou aliment [kg/j] et/ou d'eau [l/j], distincte entre les adultes
 (Q_{ing(a)}) et les enfants (Q_{ing(e)})
 P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
 P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
 Fa = Facteur d'absorption du polluant (à défaut : 100 % = [1])
 Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
 Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux
 substances avec seuil : Ve = Ex [a]
 Fexa = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
 Fexj = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]
 Fexv = Fréquence d'exposition pendant la vie [a/vie]

Quantification des DJE : Doses journalières d'Exposition : Inhalation

Inhalation

$$DJE_{inh} = Ca \cdot \frac{Q_{inh}}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot Fexa \cdot Fexj \cdot Fexv$$

- DJE_{inh} = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
Ca = Concentration en polluant dans l'air [mg/m³]
Q_{inh} = Quantité inhalée d'air [m³/j], distincte entre adultes (Q_{inh}(a)) et enfants (Q_{inh}(e)).
P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
Fa = Facteur d'absorption d'un polluant (à défaut : 100 % = [1])
Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux substances avec seuil : Ve = Ex [a]
Fexa = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
Fexj = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]
Fexv = Fréquence d'exposition pendant la vie [a/vie]

Quantification des DJE : Doses journalières d'Exposition : Contact cutané

Contact cutané (sol, poussières)

$$DJE_{cut} = Cs \cdot F_{sp} \cdot \frac{Sp_{ex} \cdot Q_{sp}}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot F_{exa} \cdot F_{exv}$$

- DJE_{cut} = Dose journalière d'exposition [mg/kg/j]
Cs = Concentration en polluant dans le sol [mg/kg]
F_{sp} = Fraction de sol dans la poussière (à défaut : 100 % = [1])
Sp_{ex} = Surface de peau exposée, distincte entre les adultes et des enfants [m²]
Q_{sp} = Quantité du sol (ou poussières) sur la peau [kg/m²]
P(a) = Poids corporel d'un adulte [70 kg]
P(e) = Poids corporel d'un enfant [15 kg]
Fa = Facteur d'absorption d'un polluant (à défaut : 100 % = [1]) ou vitesse d'absorption [m/h]
Ex = Exposition totale par adulte ou enfant [a]
Ve = Années de la vie entière par adulte ou enfant [a]. En cas d'exposition aux substances avec seuil : Ve = Ex [a]
F_{exa} = Fréquence d'exposition annuelle [j/365j]
F_{exj} = Fréquence d'exposition journalière [hrs/24 hrs]
F_{exv} = Fréquence d'exposition pendant la vie [a/vie]

$$DJE_{tot} = DJE_{ing.} + DJE_{inh.} + DJE_{cont.}$$

Quantification des risques et vérification des risques acceptables:

**Circulaire du Ministère chargé de l'Environnement du 19/04/2017/
Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués :**

- **Risques sanitaires acceptables** provoqués par des substances avec des effets toxiques à seuil de dose :

QR ou QD (Quotient de Risque ou de Danger) : $DJE / DJT < 1$

- **Risques sanitaires acceptables** provoqués par des substances avec des effets toxiques sans seuil de dose (par exemple risque cancérogène) :

ERI (Excès de risque individuel): $DJE \bullet ERU < 10^{-5}$

Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires

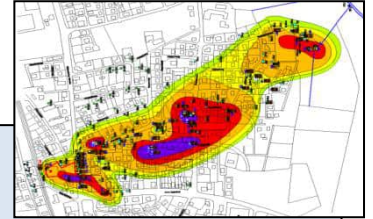


Les Effets avec seuil de dose :

- Il s'agit des **effets toxicologiques systémiques** (neurotoxicité, hépatotoxicité, néphrotoxicité, etc.), **non-génotoxiques**.
- Dans ce cas, les **Doses Journalières d'Exposition (DJE)** sont divisées par la **VTR**, sous forme de **DJT** (Dose journalière Tolérable), exprimée par ex. en [mg/kg/j], soit :

$$\text{DJE (mg/kg/j)} / \text{DJT (mg/kg/j)} = \text{QR (Quotient de Risque)} \text{ ou QD (Quotient de Danger)}$$

- Le QR (ou QD) doit rester inférieur à « 1 », **sinon le risque est considéré comme**
➔ **non-acceptable.**



Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires

Les Effets sans seuil de dose :

- En général, il s'agit des **effets génotoxiques (cancérigènes, mutagènes et tératogènes)** à l'exception des effets épigénétiques.
- Dans ce cas, les **Doses Journalières d'Exposition (DJE)** sont **multipliées par la VTR**, (sous forme d'Excès de Risque Unitaire : ERU) ou Slope Factor : SF ou Unit Risk: UR), exprimés par ex. en $[(\text{mg/kg/j})^{-1}]$, soit :

$$\text{ERU } [(\text{mg/kg/j})^{-1}] \bullet \text{DJE (mg/kg/j)} = \text{ERI (-) : Excès de Risque Individuel}$$

- L'ERI doit rester inférieur à « 10^{-5} », **sinon le risque est considéré comme**
→ non-acceptable.

Evaluation des Mélanges des PFAS

Les effets de mélange des polluants (« *Combined Exposure to multiple Chemicals* ») sont considérés depuis 2009 par l'IPCS & OMS (WHO) etc. via une additivité des doses d'exposition et des risques, si les effets toxicologiques sont similaires ou les mêmes.

Les exceptions sont :

- les Synergies (interaction) qui montrent des effets toxicologiques plus importants que l'additivité des doses ou
- les Antagonismes (interaction) qui provoquent des effets toxicologiques moins importants que l'additivité des doses.



Une différence doit être faite entre :

- A. l'exposition agrégée (« Aggregate Exposure ») aux polluants individuels par l'ensemble des voies d'exposition,
 - B. l'exposition cumulée (« Cumulative Exposure ») évaluant un risque combiné par plusieurs polluants.
- Il faut identifier les polluants montrant les mêmes mécanismes toxicologiques (ou organes cibles). Ces groupes de polluants sont appelés les « MOA : Common Toxic Mode of Action ».

Addition pour chaque groupe MOA, par ex. via l'application suivante :

$$\sum_{i=1}^n QD_i = \sum_{i=1}^n \frac{DJE_i}{VTR_i}$$

Quotient de Risque : QR

= Exposition 1 (DJE)/DJT + Exposition 2 (DJE)/DJT +

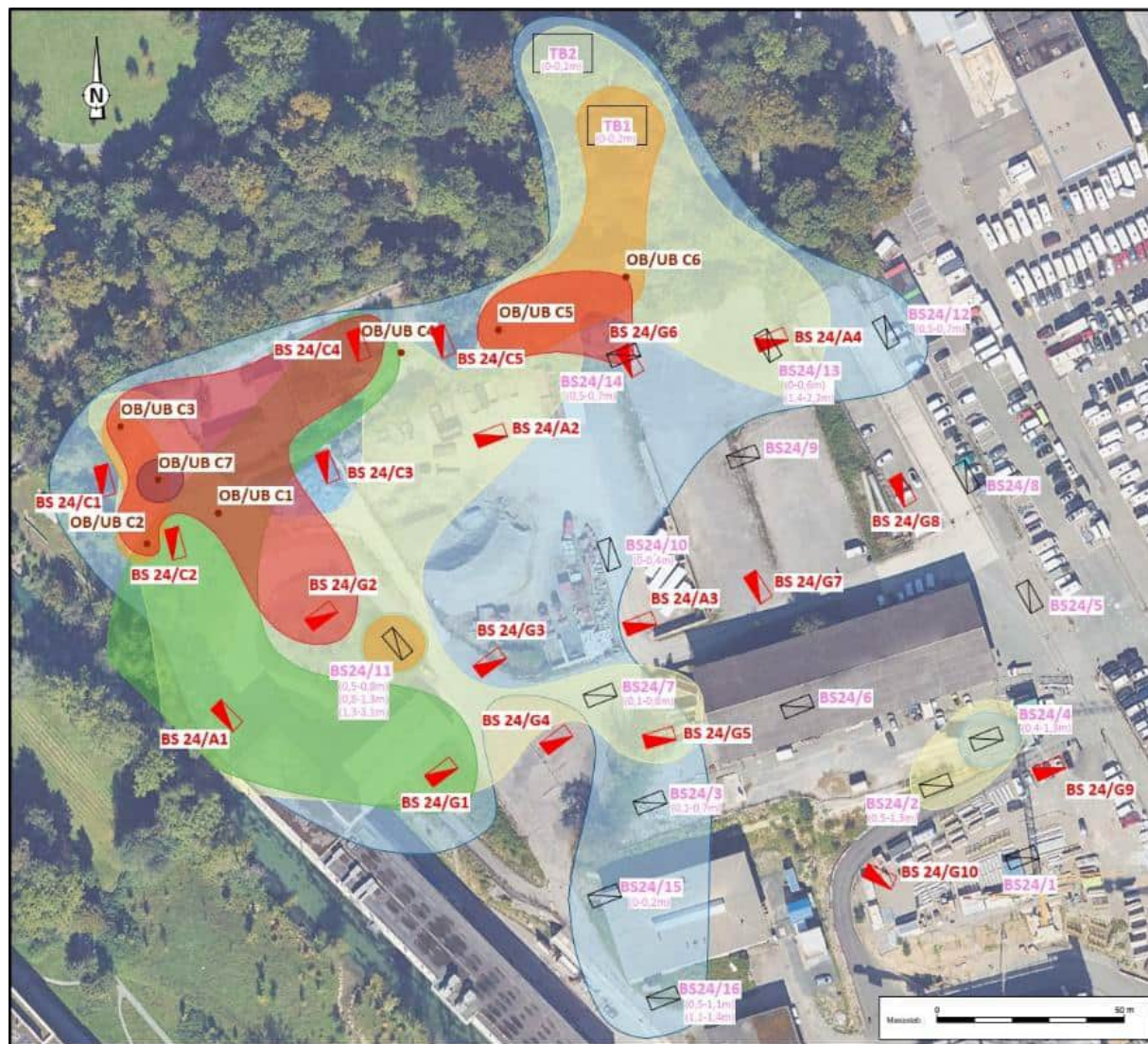
Excès de Risque Individuel : ERI

= Exposition 1 (DJE) • ERU + Exposition 2 (DJE) • ERU +








Acceptable Risks (for ex.: ICR Individual Cancer Risk):

- **OMS / WHO** : World Health Organisation, M. Younes: International Symposium “Exposure and Risk Assessment with Respect to Contaminated Soil”, Munich from February 28 & 29/1996: **Acceptable Individual Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** (= 1 additional Cancer per 100 000 Persons),
- **Autriche** : UBA_{AT}: Umweltbundesamt (2011): **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **UK**: DEFRA: Department for Environment, Food and Rural Affairs (2002): Report CLR9TOX1-10: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **Canada** : According HEALTH CANADA (2002) : “Atlantic Provinces” (NS, NB, PEI, and Nfld./Lab.): **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **France** : MEDD: Circular from April 2017: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **Allemagne** : Bundesanzeiger BA 161a from August 28/1999 : Toxicological Screening Level (PW) for **Acceptable Cancer-Risk: $ICR = 10^{-5}$** , Proved intervention level: $ICR = 5 \bullet 10^{-5}$
- **Italie** : Décreto 52/2006 from 2006: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **Pays Bas** : RIVM (2001): Document 711701 025 Re-Evaluation of Human-Toxicological Maximum Permissible Risk levels: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **Suisse** : Vollzugshilfe zur Altlastenverordnung / Herleitung von Konzentrationswerten BAFU: 29.01.2014. **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$** ,
- **USA** : DOH: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-6} - 10^{-4}$** . In the most cases and States an **Acceptable Cancer Risk of $ICR = 10^{-5}$** is used.
- **Australie, Hong-Kong, Denmark, Japan, New Zealand, Norway, Sweden: $ICR = 10^{-5}$** is used.

Example Exceeding of site specific Remediation Goals: Soil

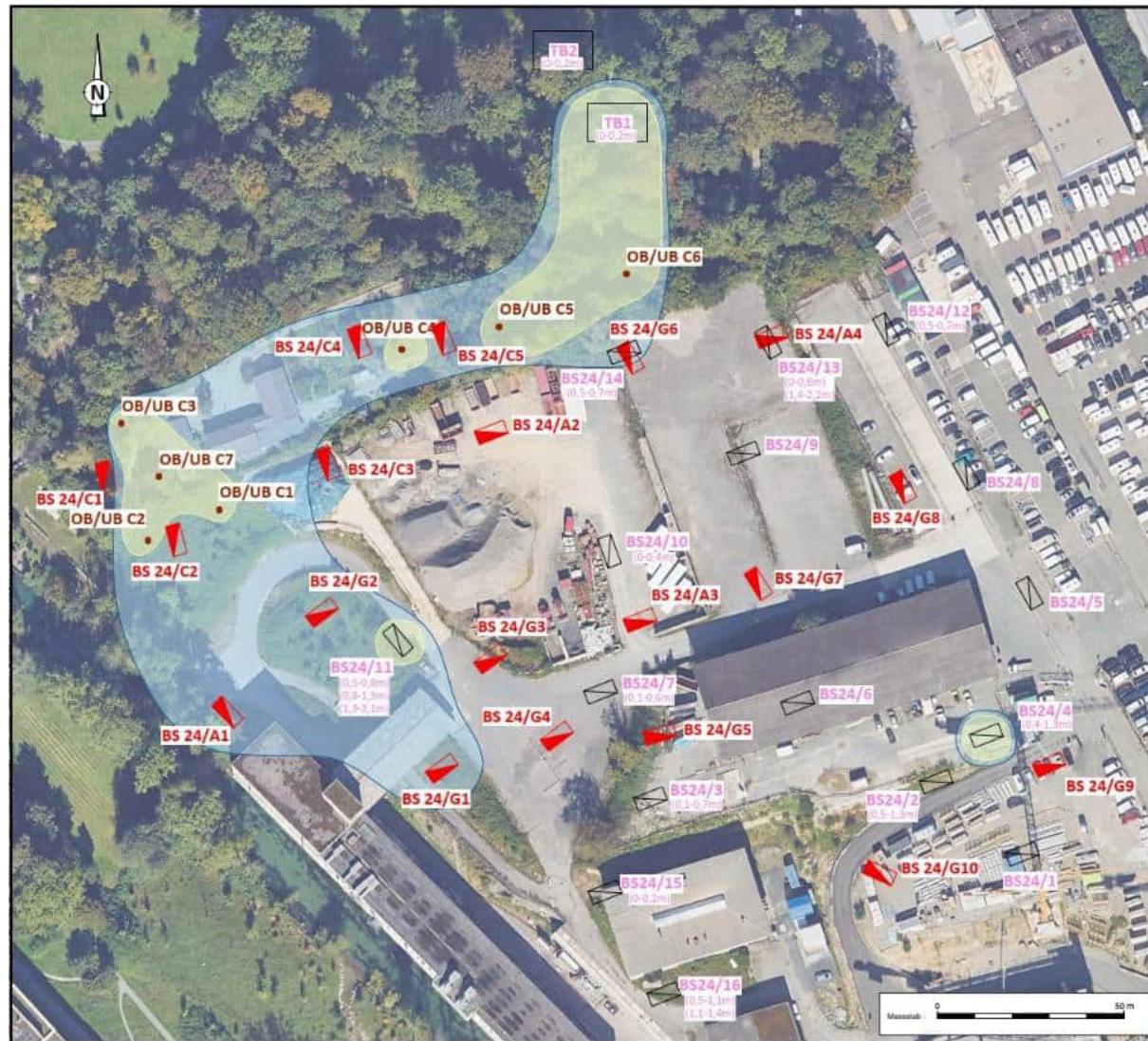


Individual Residential site Use with private Garden

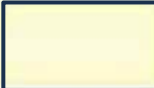

	PFHpA $\geq 0,002$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFOA $\geq 0,0004$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFNA $\geq 0,0004$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFHxS $\geq 0,0004$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFOS $\geq 0,0004$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFHpS $\geq 0,0004$ mg/kg ⁽¹⁾
	PFOSA $\geq 0,002$ mg/kg ⁽¹⁾

Consideration of poly-fluorinated PFAS Precursors and their intermediary and final Metabolites for Human Health Risk Assessments (HHRA & TERQ): The Question of the FTOHs in Soil, Water and Air.

Example Exceeding of site specific Remediation Goals: Soil



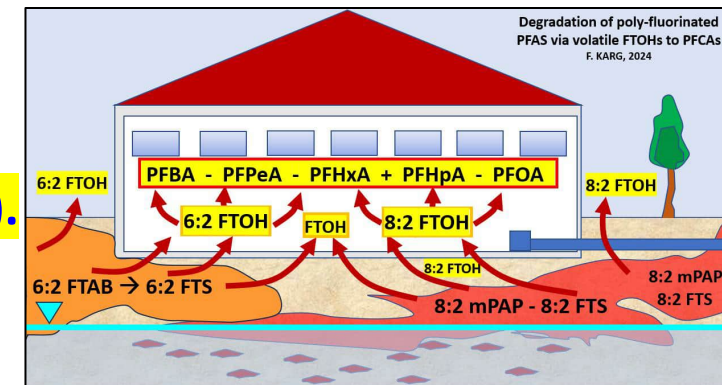
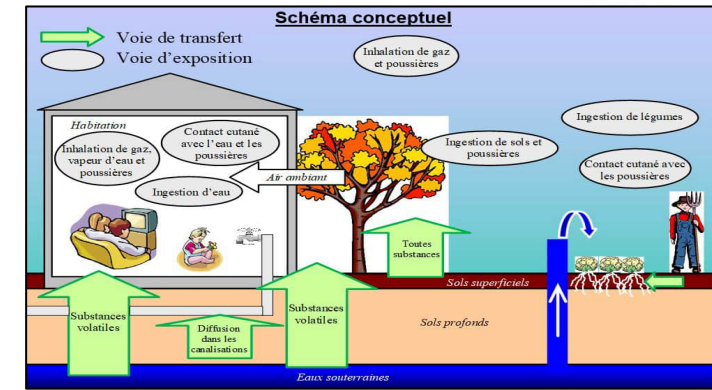
Green space and Sports Areas:

	PFOA $\geq 0,002$ mg/kg
	PFOS $\geq 0,006$ mg/kg

Conclusion :

- Il existe plus que 9 000 15 000 composés PFAS
- Les PFAS sont très solubles mais aussi bio-accumulables
- Les substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS) sont non-volatils, à l'exception des FTOH etc. volatils : Alcools fluorotélomères,
- Les PFAS polyfluorés sont bio-transformés en PFAS perfluorés stables
- Il existe des milliers de sites pollués par les PFAS: sites de lutte contre l'incendie (comme sur les aéroports...), sites industriels, terres agricoles avec boues de STEP....
- Des investigations des sites et des évaluations détaillées des risques sont nécessaires !
- Des analyses chimiques sont à réaliser sans et avec Top Assay.
- Les évaluations des risques détaillés avec leurs VTR actualisées sont à préférer par rapport aux évaluations des risques simplifiés (par simple comparaison des concentrations aux valeurs des concentrations limites).
- Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économiques.

Contact: frank.karg@hpc-international.com



Management des pollutions PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Santé - Environnement

Merci !

Questions ? Remarques ?

Dr. (PhD) Frank Karg / Scientific Director of HPC-Group (INOGEN JV) and
CEO-President of HPC INTERNATIONAL / France, Germany, Hungary, Balkan, etc.

Email: frank.karg@hpc-international.com / Phone: +33 607 346 916

