

Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé



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

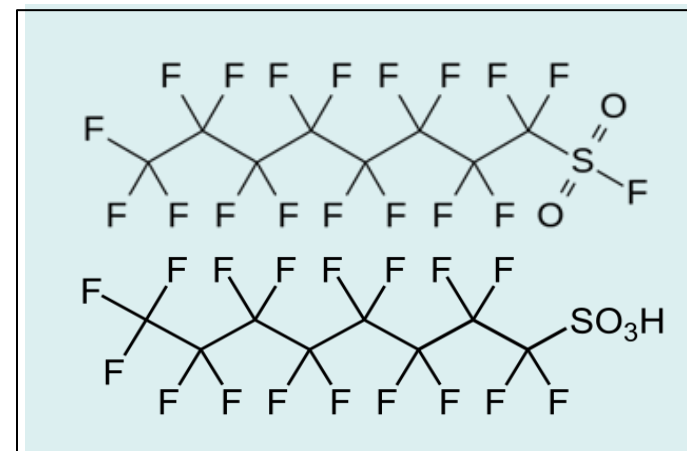
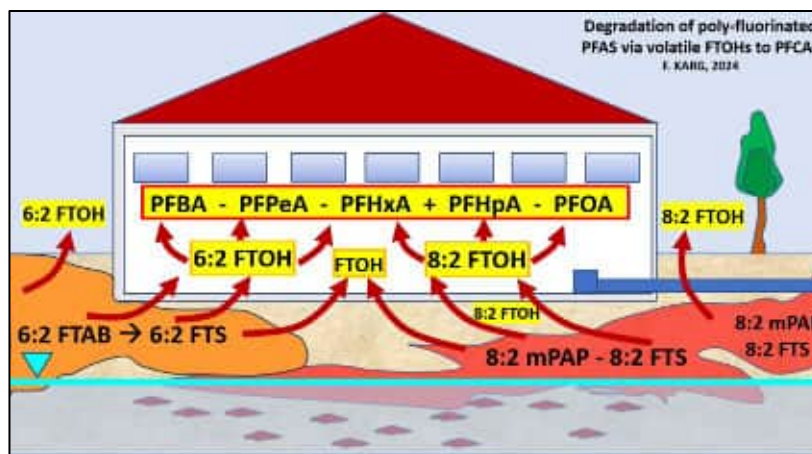
L'importance de l'identification et de la différenciation des Sources PFAS dans les eaux souterraines via la Multi-Vector-Analyse sur la base de l'Intelligence Artificielle dans le cadre des Expertises judiciaires

The importance of Identifying and Differentiating PFAS Sources in Groundwater via Multi-Vector-Analysis, based on Artificial Intelligence in the context of Forensic Expertise

Frank KARG, Philippe GIRARD, Ulrike HINTZEN, Lucie ROBIN-VIGNERON /

HPC INTERNATIONAL / France, Germany, Suisse, Hungary, Balkan, etc.

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





PFAS

Le Gouvernement lance un plan d'action interministériel pour limiter les risques associés aux PFAS
06/04/2024

PFAS

Que sont les PFAS, ces polluants retrouvés dans les rivières du Finistère ?
Alors qu'à Plabennec (Finistère)...

06/02/2024

POLLUANTS ÉTERNELS : UN RAPPORT ALERTE SUR LA NÉCESSITÉ D'INTERDIRE "URGEMMENT" LES REJETS INDUSTRIELS CONTENANT DES PFAS

CONFÉRENCE DE PRESSE : LES PFAS, UN POISON

PFAS :

pourquoi docteur

07/02/2024

PFAS : contamination record de l'eau de deux villes proches d'une usine

ars

04/03/2024

Pollution aux PFAS : la consommation des fruits et légumes à Oullins-Pierre Bénite déconseillée par la préfecture

PFAS

Les PFAS dans l'environnement

PFAS : Surveillance des eaux en Auvergne Rhône-Alpes

21/03/2024

PFAS : des "polluants éternels" r... des personnes testées, selon une

Centre Presse.fr

L'eau du robinet impropre à la consommation en France : ce mail interne de l'ARS qui jette le trouble

PFAS «Polluants éternels» : l'eau du robinet contaminée chez plus de 160 000 habitants en Auvergne Rhône-Alpes

PFAS

Contamination aux PFAS : le problème de santé publique qui enfle, qui enfle

actuLyon

19/03/2024

Polluants éternels : la Métropole de Lyon porte plainte contre deux entreprises

franceinfo:

15/01/2024

"PFAS" dans l'eau potable : 166 000 habitants concernés dans la région, l'ARS passe en "phase active"

Industrie

Polluants éternels : 34 communes du Rhône portent plainte pour «mise en danger de la vie

ouest france

Alerte aux « polluants éternels » dans des rivières et étangs d'Ille-et-Vilaine

ouest france

Le Gouvernement lance un plan d'action interministériel pour limiter les risques associés aux PFAS

ouest france

Actualité Nos positions Régions Communes Sport JO 2024

Alerte aux « polluants éternels » dans des rivières et étangs d'Ille-et-Vilaine

Trois associations - Vilrè-Tuvalu, Anle...

franceinfo: vidéos radio jt

3 ouvergne rhône-alpes

"PFAS" dans l'eau potable : 166 000 habitants concernés dans la région, l'ARS passe en "phase active"

ici

ACTUALITÉ DÉCLIC

Contamination

actuLyon

19/03/2024

Polluants éternels : la Métropole de Lyon porte plainte contre deux entreprises

La Métropole écologiste de Lyon a annoncé, ce mardi 19 mars 2024, le dépôt d'une plainte contre les sociétés Arkema et Daikin, soupçonnées de

Liberté Égalité Fraternité

GOUVERNEMENT

PFAS

Plan d'actions interministériel sur les PFAS

Avril 2024

Action 21 : Renforcer la recherche - Améliorer les connaissances sur les propriétés physico-chimiques, les mécanismes de mobilité, le transfert et la dégradation

FRANCE NATION VERTE

Agir · Mobiliser · Accélérer

21/03/2024

Les PFAS en Auvergne R

Le Gouvernement lance un plan d'action ministériel pour limiter les risques associés

06/04/2024

PFAS

Que sont les PFAS, ces polluants retrouvés dans les rivières du Finistère ?

Alors qu'à Plabennec (Finistère)...

06/02/2024

POLLUANTS ÉTERNELS : UN RAPPORT ALERTE SUR LA NÉCESSITÉ D'INTERDIRE "URGEMMENT" LES REJETS INDUSTRIELS CONTENANT DES PFAS

LCP ASSEMBLÉE NATIONALE

NICOLAS THIERRY STOP PFAS

CONFÉRENCE DE PRESSE : LES PFAS, UN POISON

PFAS :

pourquoi docteur

07/02/2024

PFAS : contamination record de l'eau de deux villes proches d'une usine

REPUBLICAINE FRANÇAISE

ars

04/03/2024

Pollution aux PFAS : la consommation des fruits et légumes à Oullins-Pierre Bénite déconseillée par la préfecture

LE PROGRES

PFAS

l'environnem

PFAS (PFC, PFT):

1. PFAS ? : Description des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie
5. Contexte réglementaire & Valeurs limites
6. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
7. Traitements, Dépollution & Décontamination



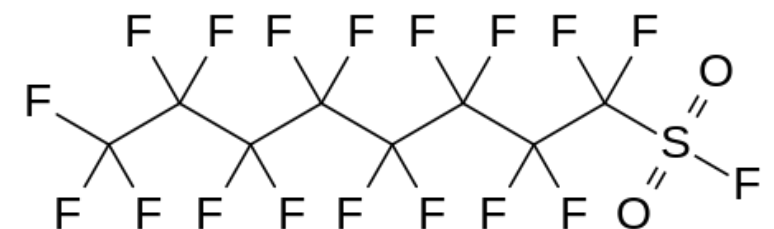
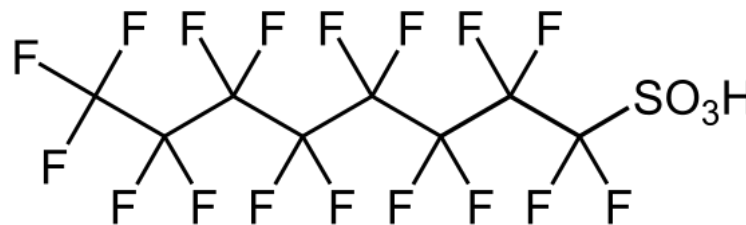
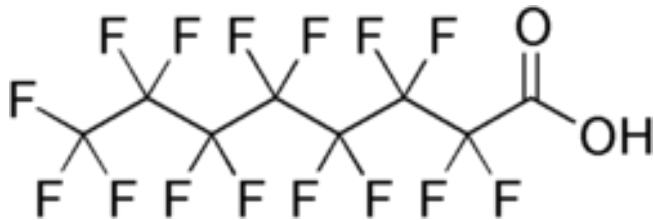
Management of PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Environmental Contaminations & Health Risk

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:	<u>Very strong:</u> Medicine equipment, Electronics, Sealings, Confinement of chemicals, Climatization equipment & fridges, Car-industry, Aeronautic & Space Industry, Paints, Papers, Cartridges, etc.	Less strong: AFFF (Anti Fire Fighting Foams), Galvanization Additives, etc.

PFAS ?

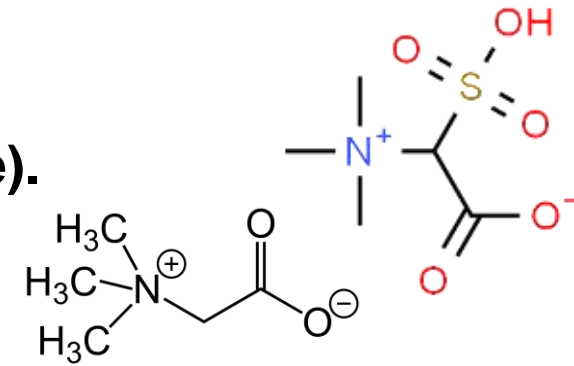
- Il existent **> 9 000 substances** Per- & Polyfluor-akyles (PFAS) en produits synthétiques
- PFAS ont été fabriqués industriellement **depuis** des années **1940s**.
- **PFOA and PFOS** ont été fortement produits et étudiés. Les 2 substances sont très persistents et toxiques pour les organismes, y compris le humains.
- Quelques PFAS sont des **POP**: « Persistent Organic Pollutants » et bannies par la **Convention de Stockholm**, comme PFOA, PFOS & PFOSF (Perfluoro-octanonic-acid, Perfluoro-octane-sulfonic-acid & Perfluoro-octane-sulfonyl fluorine).



PFAS comprennent une gamme diversifiée de groupes hydrophiles,

→ ce qui explique leur forte solubilité:

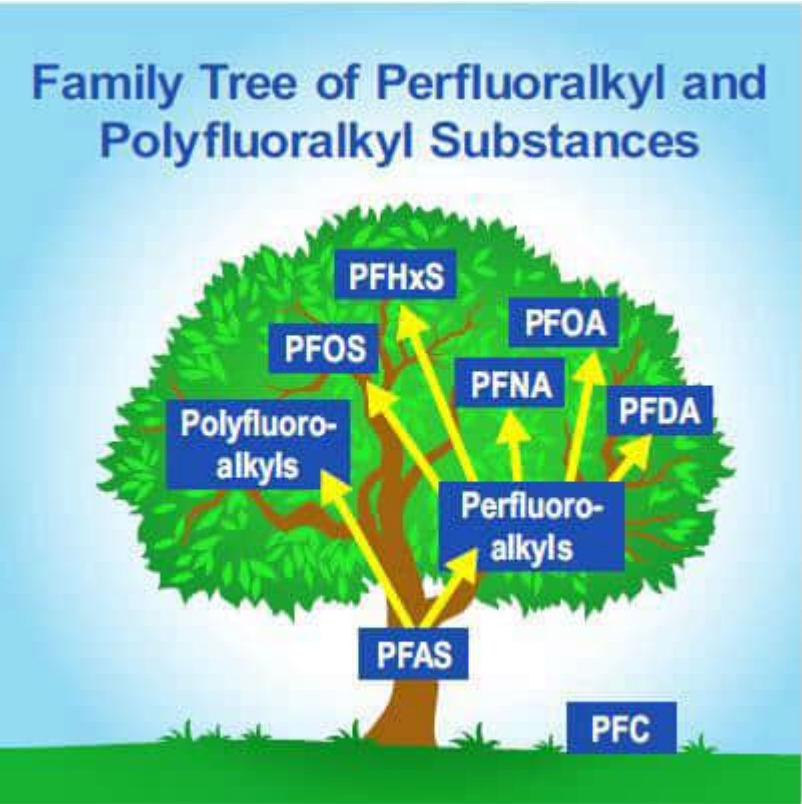
- **Non ioniques** (p. ex. polyéthylène glycols, oligomères d'acrylamide).
- **Anioniques** (p. ex., les sulfonates, les sulfates, les carboxylates et les phosphates).
- **Cationiques** (p. ex., ammonium quaternaire: par ex. Bétaines & Sulfobétaines).



→ Les produits commerciaux contiennent principalement des mélanges.

→ Les fluoro-télomères à longue chaîne (> C₈) utilisés comme substituts du PFOS (interdit) et du PFOA sont transformés en PFOA dans le sous-sol. Les PFAS de chaîne courte (< C₆) ne peuvent pas être transformés en PFOA ou en PFOS.

PFAS Classification:



Classement et structure chimique pour les alkyls perfluorés (d'après Buck *et al.* (2011))

Classification et structure chimique		$C_nF_{2n+1}R$, où $R =$	Exemples (n=8)
Acides alkyls perfluorés (PFAA) Acides Perfluoro alkyls (PFAA)	Acides carboxyliques alkyls perfluorés (PFCA)	COOH	PFOA (forme acide carboxylique)
	Carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA)	COO ⁻	PFOA (forme carboxylate)
	Acides sulfoniques perfluoroalcanes (PFSA)	SO ₃ H	PFOS (forme acide)
	Sulfonates de perfluoroalcanes (PFSA)	SO ₃ ⁻	PFOS (forme sulfonate)
	Acides sulfiniques de perfluoroalcanes (PFSIA)	SO ₂ H	Acide sulfinique perfluorooctane (PFOSI)
	Acides phosphoniques alkyls perfluorés (PFPA)	P(=O)(OH) ₂	Acide sulfonique perfluorooctyl (C8-PFPA)
	Acides phosphiniques alkyls perfluorés (PFPIA)	P(=O)(OH)(C _m F _{2m+1})	Acide phosphinique bis(perfluorooctyl) (C8/C8-PFPIA)
Sulfonates de perfluoroalcanes fluorés (PASF)		SO ₂ F	Sulfonate de perfluorooctane fluoré (POSF)
Sulfonamides de perfluoroalcanes (FASA) Sulfonamides Perfluoro alkanes (PFASa)		SO ₂ NH ₂	Sulfonamide de perfluorooctane (FOSA)
Perfluoroalcanoyles fluorés (PAF) Perfluoro alkanoyles (PAF)		COF	Perfluorooctanoyle fluoré (POF)
Iodures alkyls perfluorés (PFAI) Perfluoro alkyle iodites (PFAI)		I	Iodure hexyl-perfluoré (PFHxI)
Aldéhydes alkyls perfluorés (PFAL) et hydrates d'aldéhydes perfluorés (PFAL.H ₂ O _s)		CHO et CH(OH) ₂	Perfluorononanal ⁷ (PFNAL)

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 (- 12 000) PFAS aux caractéristiques chimiques et physiques différentes.

PFAS (PFC, PFT):

1. PFAS ? : Description des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie
5. Contexte réglementaire & Valeurs limites
6. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
7. Traitements, Dépollution & Décontamination



Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Production & Applications depuis 1960

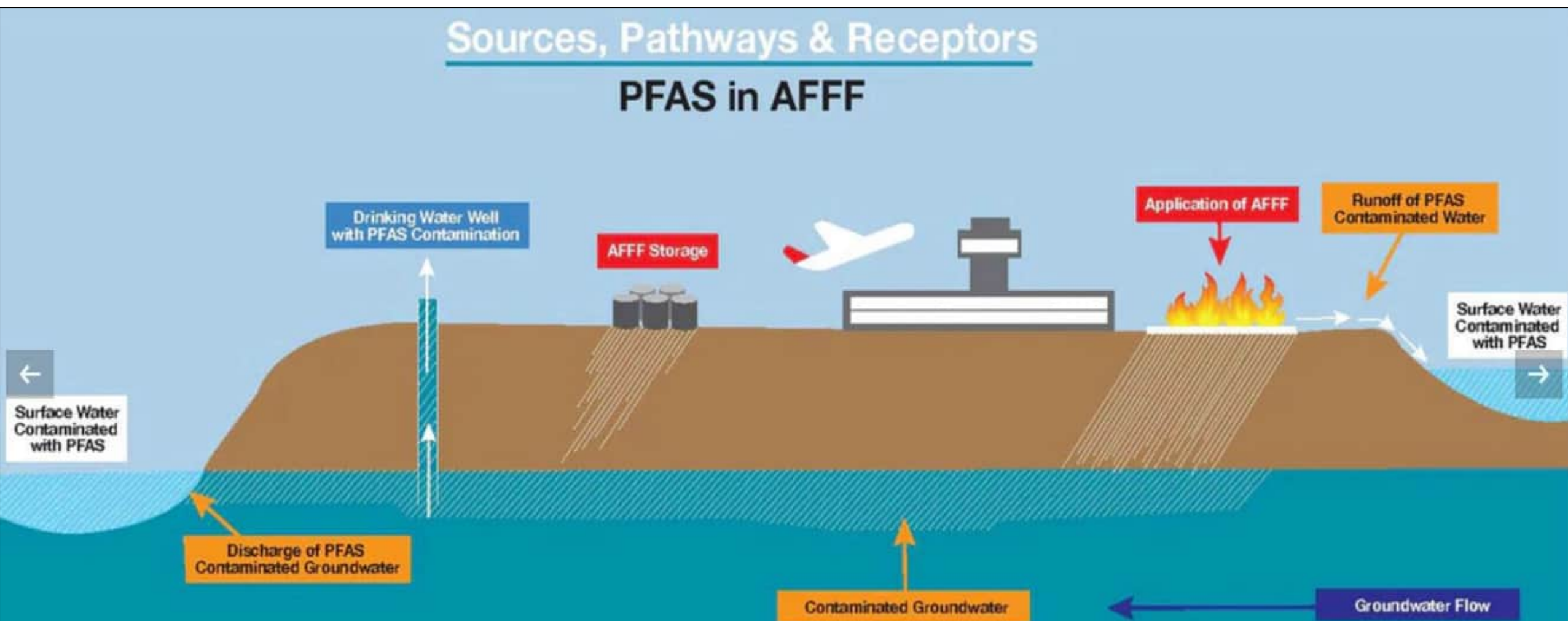
- Galvanisation
- Production des Textiles
- Food Packaging (Polymers)
- Production des Papiers & Cartons
- Raffineries, Industrie Photographique & encres
- Matériel de Construction (Bétons):
par ex. C₈-C₂₀-gamma-omega-perfluoro Thiols)
- Peintures, Encres & Laces
- Modules électroniques & semi-conducteurs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



Utilisation des PFAS (AFFF) sur
l'ancienne Base Aérienne
BA 103 (700 ha)



Utilisation des Mousses Anti Incendie (AFFF) sur les Aéroports: Anti Fire Fighting Foams



Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Fire Fighting Foam (AFFF) Layer of 1,2 m on German NATO Site

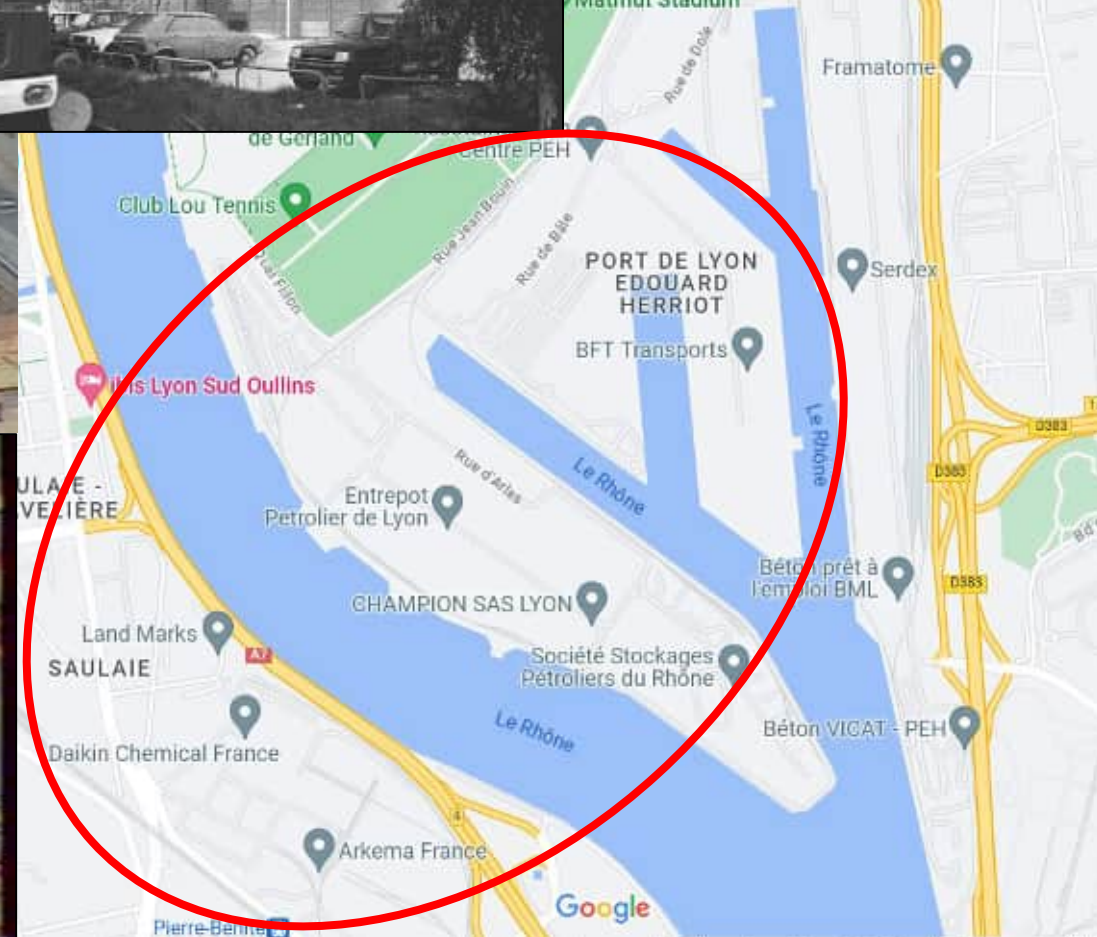


Quelle: Spiegel Online 19.11.2016 / KTVU-TV / AP

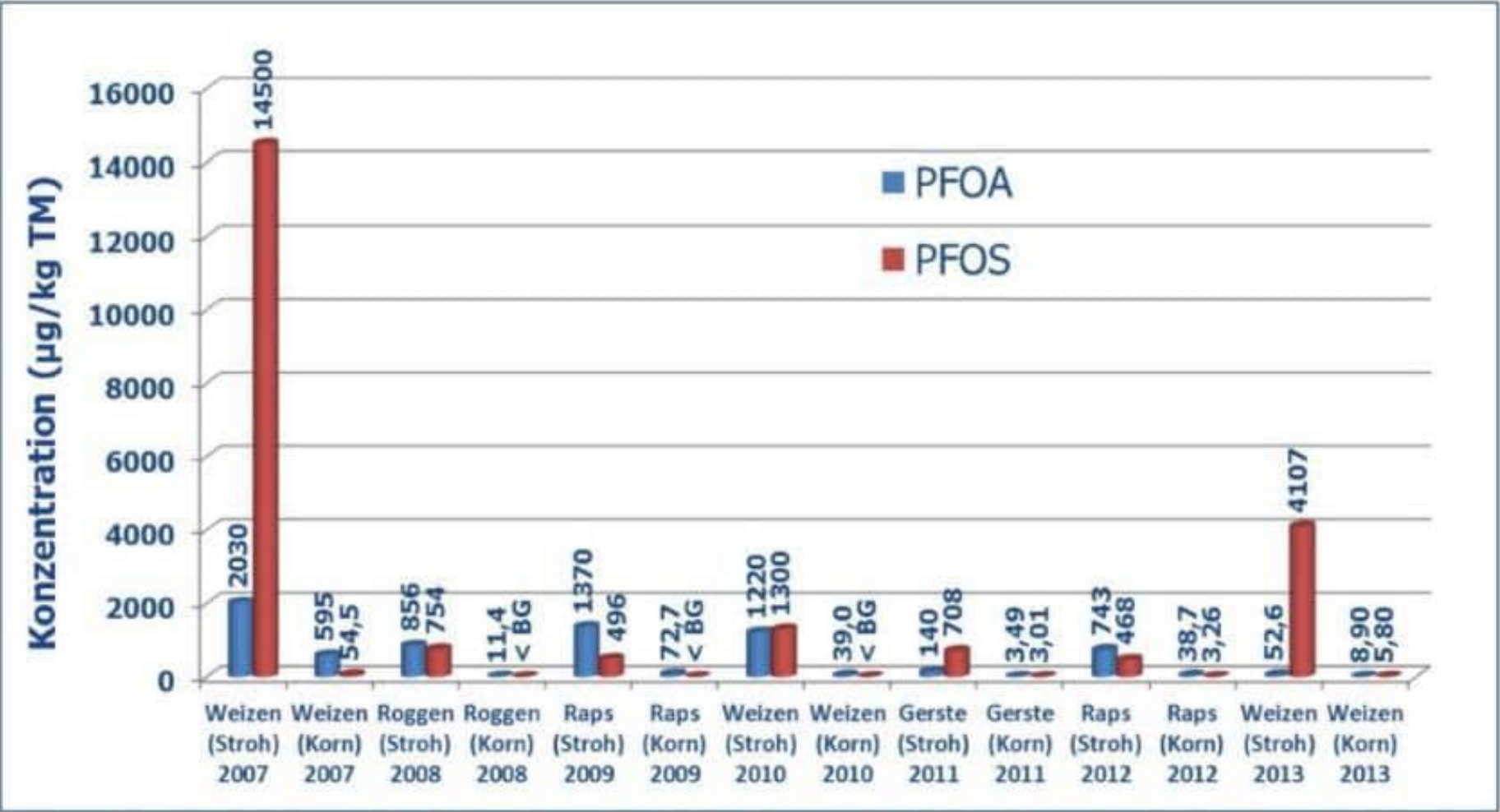
Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Incendie port Edouard-Herriot

1987



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



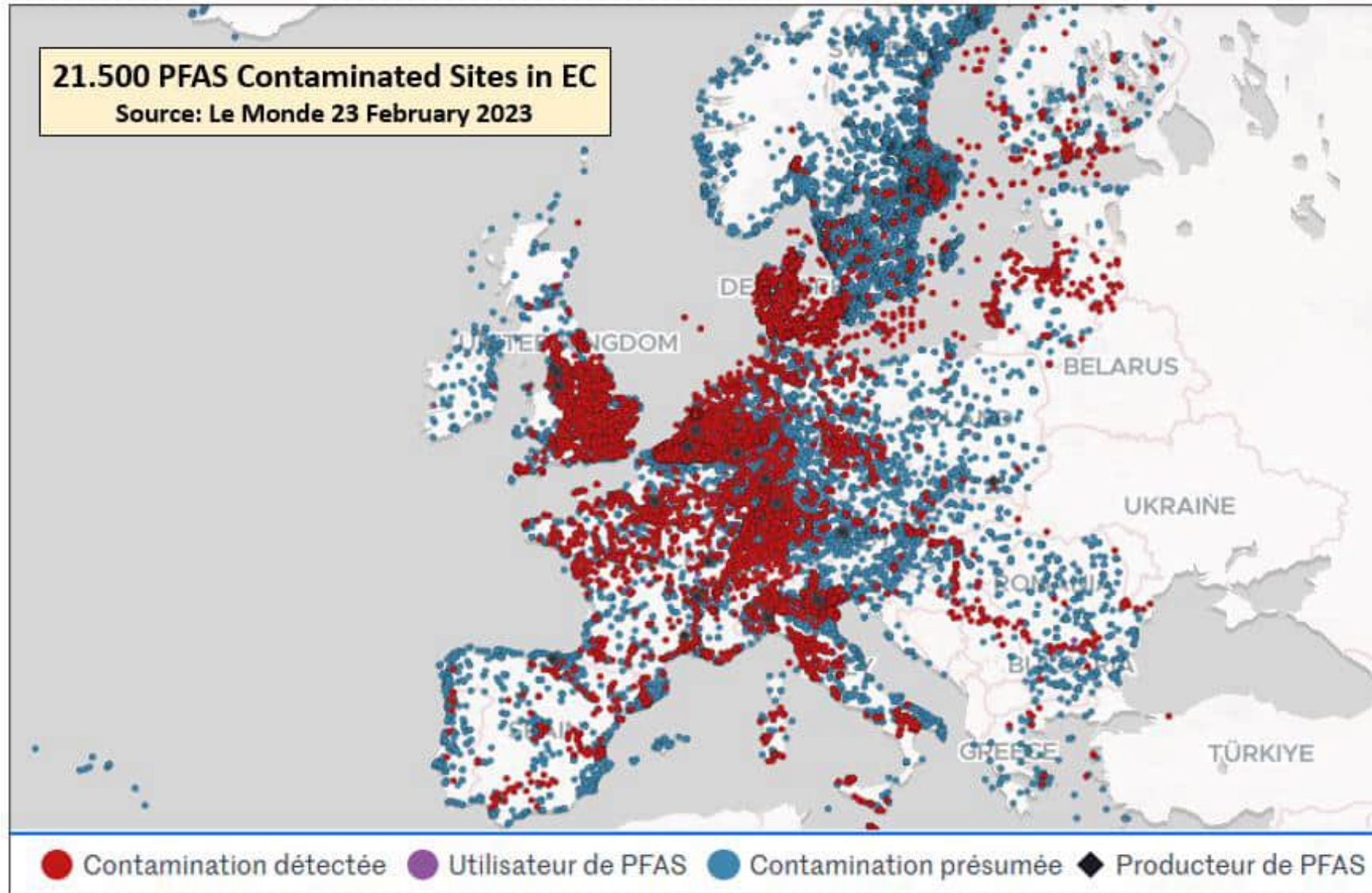
Sites potentiellement pollués par les PFAS:

- Sites des entraînements anti-incendie (utilisation des mousses anti-incendie)
- Sites des incendies (utilisation des mousses anti-incendie)
- Aéroports, bases aériennes et sites militaires (à partir de 1946)
- Sites industriels de galvanisation (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des papiers et cartons « cirés » (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des textiles imperméables (à partir de 1946)
- Sites industriels de production et d'utilisation des sprays d'imperméabilisations pour textiles, cuirs, etc. (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des emballages alimentaires (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des moquettes et tapis contenant des retardateurs des flammes (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des tapisseries contenant des retardateurs des flammes (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des produits de nettoyage (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des éléments électroniques (transistors, platines électroniques, etc.) (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des pesticides et biocides (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des produits cosmétiques (à partir de 1946)
- Anciens laboratoires de la chimie photographique (à partir de 1946)
- Production et application des Teflons (PTFE, etc.), y compris pour les équipements domestiques et médicales (à partir de 1946)
- Sites industriels de production des plastiques, contenant des retardateurs des flammes (à partir de 1946)
- Sites industriels et manufactures de production des objets et meubles contenant des surfaces lisses en application des PFAS (à partir de 1946)
- Sites ayant reçus des Boues de STEP à partir des années 1950
- Sites pétrolières et de l'industrie chimique, y compris la production et l'application des peintures, des teintures, des encres, des pigments, les cires chimiques et les produits de polissage, Teintureries, Tanneries, etc.. (à partir de 1946)
- Décharges et anciennes décharges municipales etc. (ISDD, ISDND, ISDD, etc.).



Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

**PFAS:
la situation
au début
2023**



Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

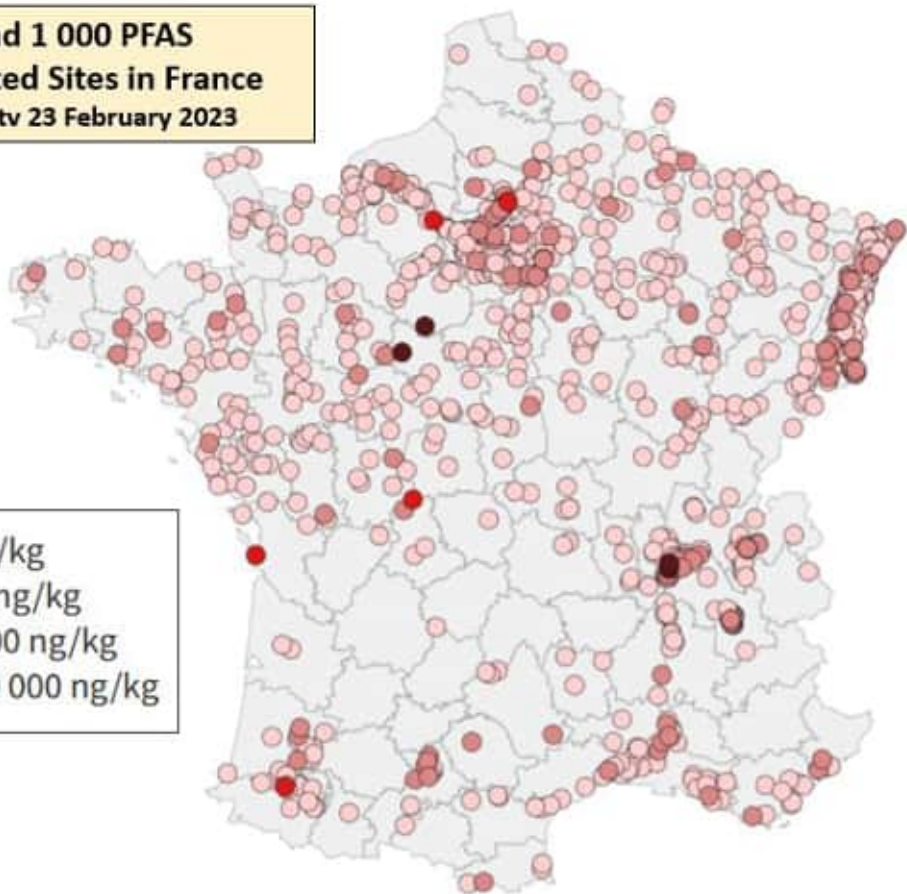
PFAS : la situation au début 2023

Env. 1 000 Sites en France

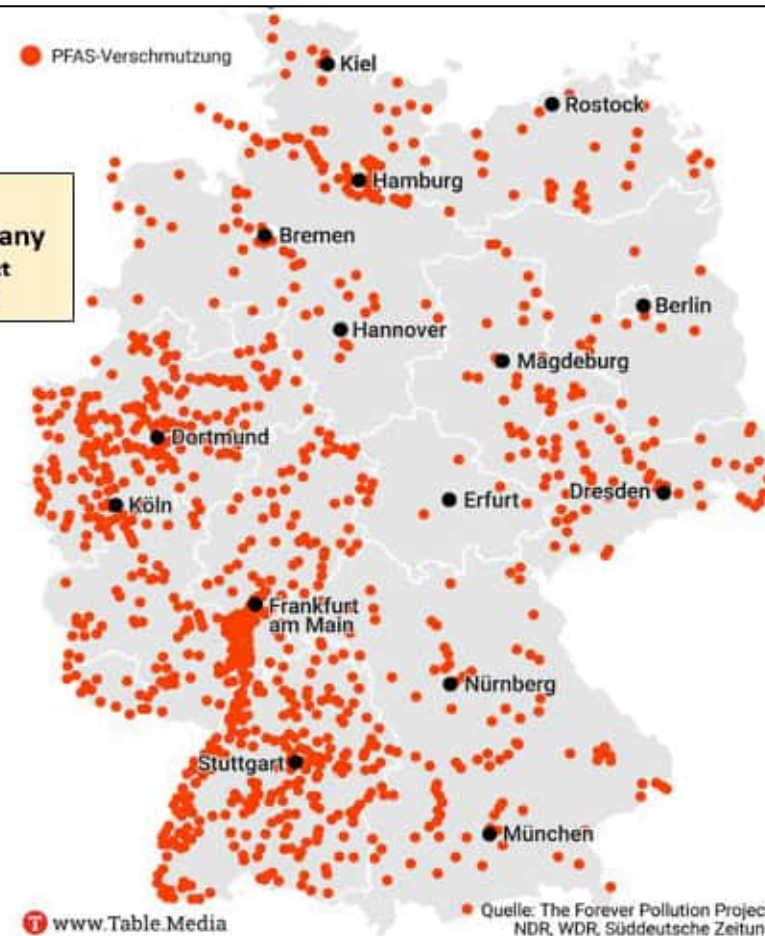
Env. 1 500 Sites en Allemagne

Arround 1 000 PFAS
Contaminated Sites in France
Source: bfmtv 23 February 2023

10-100 ng/kg
100-1000 ng/kg
1000-10000 ng/kg
Plus de 10 000 ng/kg



Arround 1 500 PFAS
Contaminated Sites in Germany
Source: Forever Pollution Project
(NDR, WDR) 23 February 2023





Le Guide de Gestion SFSE pour les PFAS : Sources de contamination, comportement environnemental, diagnostics de pollution, évaluations des risques et traitements



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 1 : Note chapeau : Connaissances générales; identité et chimie des PFAS

Fiche 2 : Cadre réglementaire & juridique des PFAS

Fiche 3 : Sources de contamination des PFAS

Fiche 4 : Devenir dans l'environnement et biotransformation des PFAS

Fiche 5 : Méthodes de prélèvements (sols, eaux souterraines, eaux de surface, gaz du sol, air ambiant, Human Bio-Monitoring)

Fiche 6 : Méthodes d'analyses (sols/eaux souterraines/eaux de surface et autres)

Fiche 7 : Bruits de fond et recommandations pour la détermination du bruit de fond (base de données)



Le Guide de Gestion SFSE pour les PFAS : Sources de contamination, comportement environnemental, diagnostics de pollution, évaluations des risques et traitements



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)

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

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

Fiche 12 : Méthodes d'assainissement - dépollution des sols

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

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

<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

Activité sur site depuis 1946	Usages du site et score							
	Crèche & école	Résidentiel avec jardin individuel	Résidentiel collectif avec jardin collectif	ERP autres	Aire de jeux	Production alimentaire	Commercial	Industriel
Entraînements anti-incendie	16	15	14	13	12	11	10	15
Aéroport ou base aérienne site militaire	15	14	13	12	11	10	9	14
Site d'incendie et utilisation des AFFF	14	13	13	12	11	10	9	14
Galvanisation électrochimique	14	13	12	11	10	9	8	13
Papiers ou cartons « cirés »	13	12	11	10	9	8	7	12
Textiles imperméables	13	12	11	10	9	8	7	12
Sprays, peintures, laques d'imperméabilisation	13	12	11	10	9	8	7	12
Production et application des Teflons (PTFE, etc.)	13	12	11	10	9	8	7	12
Sites pétroliers et de l'industrie chimique et/ou production et applications des peintures, des teintures, des encres, des pigments, les cires chimiques et les produits de polissage	13	12	11	10	9	8	7	12
Applications des solvants (garages, pressings, blanchisseries, etc.)	13	12	11	10	9	8	7	12
Décharges et anciennes décharges (ISDnD, ISDND, ISDD, etc.)	12	11	10	9	8	7	6	11
Teinturerie et tannerie	12	11	10	9	8	7	6	11
Moquettes, tapis, tissus et plastiques avec des retardateurs de flammes	11	10	9	8	7	6	5	10
Production d'objets et meubles contenant des surfaces brillantes	10	9	8	7	6	5	4	9
Produits de nettoyage	10	9	8	7	6	5	4	9
Chimie photographique	10	9	8	7	6	5	4	9
Éléments électroniques	9	8	7	6	5	4	3	8
Pesticides et biocides	9	8	7	6	5	4	3	8
Produits cosmétiques	8	7	6	5	4	3	2	7
Sites ayant reçus des Boues de STEP	7	6	5	4	3	2	1	10

Matrice de hiérarchisation de la priorité des Sites à investiguer : Air Ambient & Gaz du Sol (FTOH), Sols & Eaux souterraines, Bioaccumulation

- Si les PFAS existent seulement en amont hydrologique ou hydrogéologique : Score x 0,5
- Si existant sur site un évènement d'incendie au préalable : Score x 2
- S'il existe d'autres polluants volatils sur site (BTEX, HC5-16, COHV...) : Score x 1,5

Guide-Fiches PFAS de la SFSE

Fiche 3 :

Hiérarchisation des sources des pollutions
Exemple de la ville de Lyon concernant les ERP sensibles

- Frank KARG / SFSE – HPC INTERNATIONAL (rédaction)
- Jean-François HEILIER / SFSE – SPAQuE (rédaction)
- Florence PRADIER / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Ombeline TRIAU / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Christophe ROUSSELLE / SFSE – ANSES (relecture)

Activité sur site depuis 1946

Scores pour la catégorie « Crèche & école »

Entraînements anti-incendie	16
Aéroport ou base aérienne site militaire	15
Site d'incendie et utilisation des AFFF	14/2=7
Galvanisation électrochimique	14
Papiers ou cartons « cirés »	13
Textiles imperméables	13
Sprays, peintures, laques d'imperméabilisation	13
Production et application des Teflons (PTFE, etc.)	13
Sites pétroliers et de l'industrie chimique et/ou production et applications des peintures, des teintures, des encres, des pigments, les cires chimiques et les produits de polissage	13x1,5=19,5
Applications des solvants (garages, pressings, blanchisseries, etc.)	13
Décharges et anciennes décharges (ISDD, ISDND, ISDD, etc.)	12
Teinturerie et tannerie	12
Moquettes, tapis, tissus et plastiques avec des retardateurs de flammes	11
Production d'objets et meubles contenant des surfaces brillantes	10
Produits de nettoyage	10
Chimie photographique	10
Éléments électroniques	9
Pesticides et biocides	9
Produits cosmétiques	8
Sites ayant reçus des Boues de STEP	7
Total :	26,5

Exemple de la Ville de Lyon : École située sur un site d'une ancienne teinturerie et usages des solvants ou essences

- Si les PFAS existent seulement en amont hydrologique ou hydrogéologique : Score x 0,5
- Si existant sur site un évènement d'incendie au préalable : Score x 2
- S'il existe d'autres polluants volatils sur site (BTEX, HC5-16, COHV...) : Score x 1,5

**En total 13 sur 102
écoles et crèches
sont à considérer
prioritaires.**

- Frank KARG / SFSE – HPC INTERNATIONAL (rédaction)
- Jean-François HEILIER / SFSE – SPAQuE (rédaction)
- Florence PRADIER / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Ombeline TRIAU / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Christophe ROUSSELLE / SFSE – ANSES (relecture)

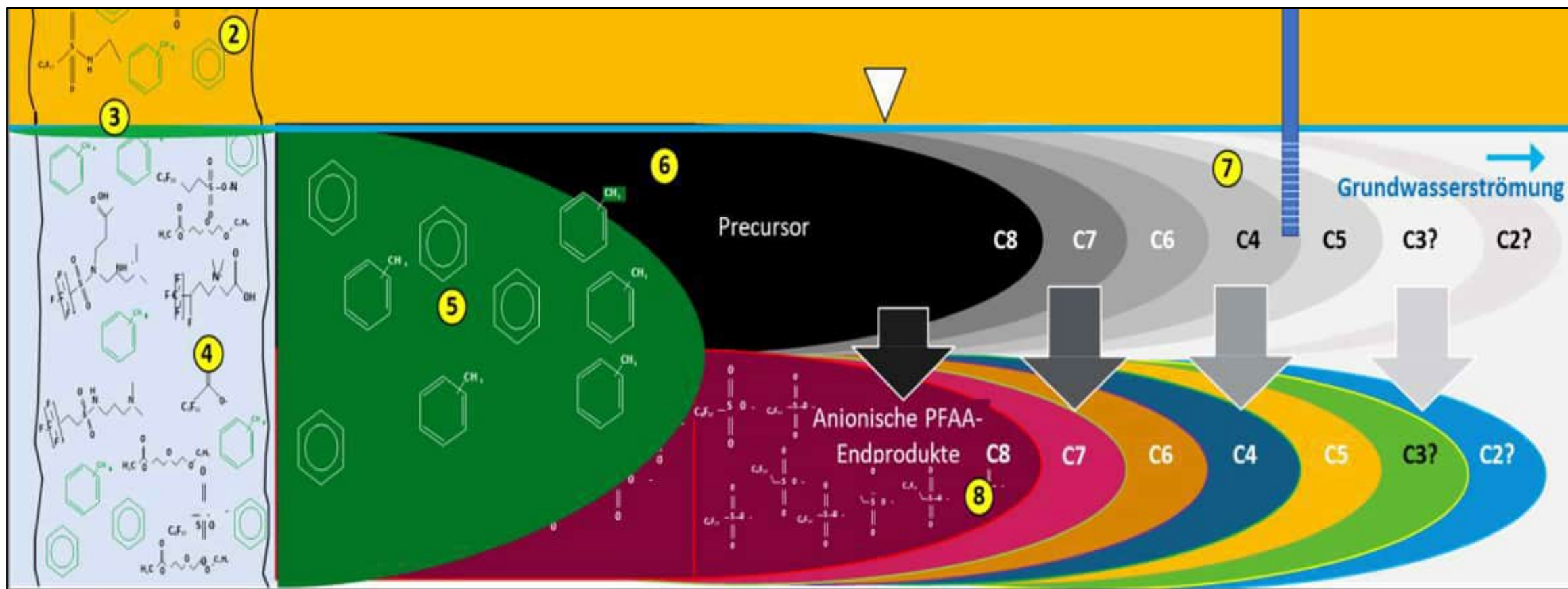
PFAS (PFC, PFT):

1. PFAS ? : Description des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie
5. Contexte réglementaire & Valeurs limites
6. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
7. Traitements, Dépollution & Décontamination



PFAS : Chimie environnementale

Schema de Biotransformation des PFAS polyfluorés vers des PFAS perfluorés
(Hurst 2017 & UBA 2020)



PFAS : Chimie Environnementale

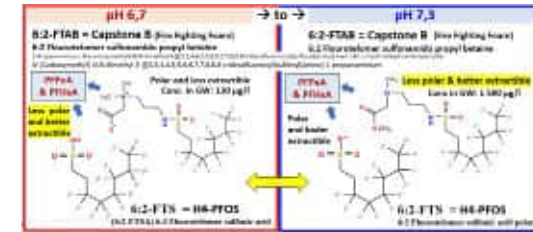
PFAS Polymères

PFAS Monomères



□ Si les « Précurseurs" (PFAS polyfluorés) ne sont pas pris en compte par des investigations, une évaluation des risques sanitaires (E Q R S) peut conclure que les PFAS perfluorés ne sont pas complètement (encore) présents.

□ La biotransformation des Précurseurs peut conduire à la formation de nouveaux acides perfluorés.



□ Ces nouvelles formations issues de la biotransformation des PFAS polyfluorés doivent être prises en compte dans une analyse des risques, car les PFAS perfluorés deviennent de plus en plus présents au fil du temps.

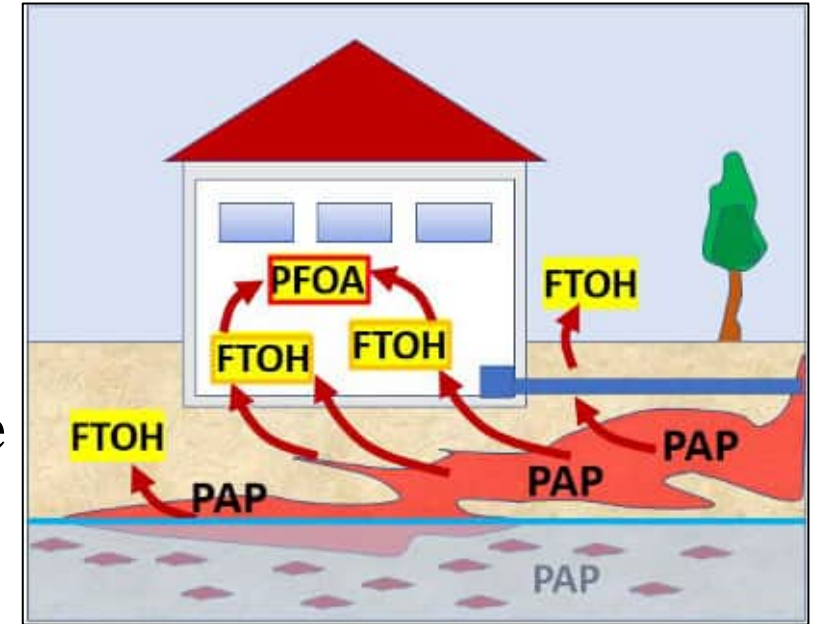
□ Une entrée de ces polluants solubles dans les eaux souterraines peut provoquer de très longs panaches de polluants qui, lors de la surveillance des eaux souterraines, montrent une présence plus en plus forte de composés PFAS perfluorés stables.

PFAS : Chimie Environnementale

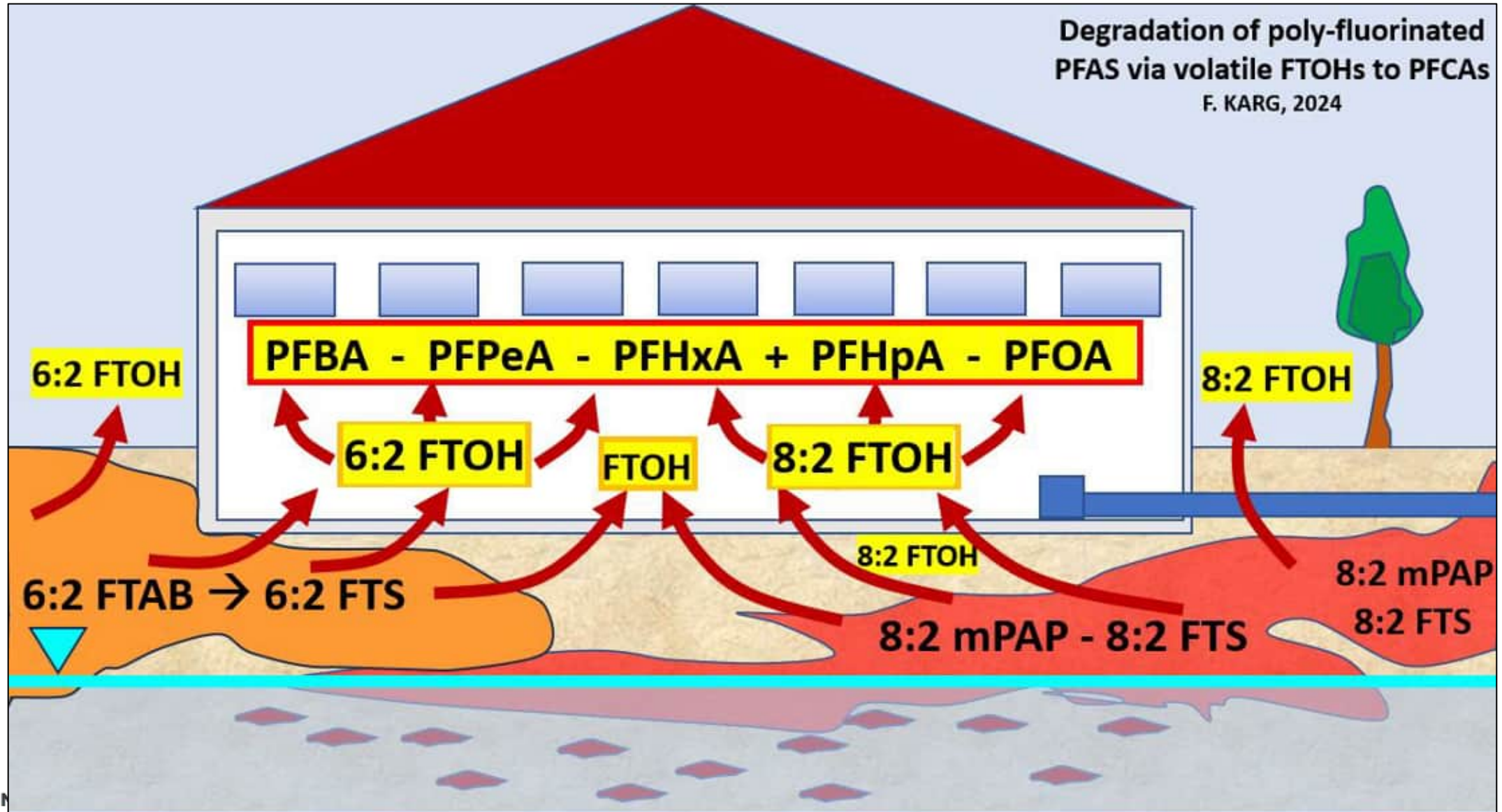
Mécanismes de Biotransformations des PFAS:

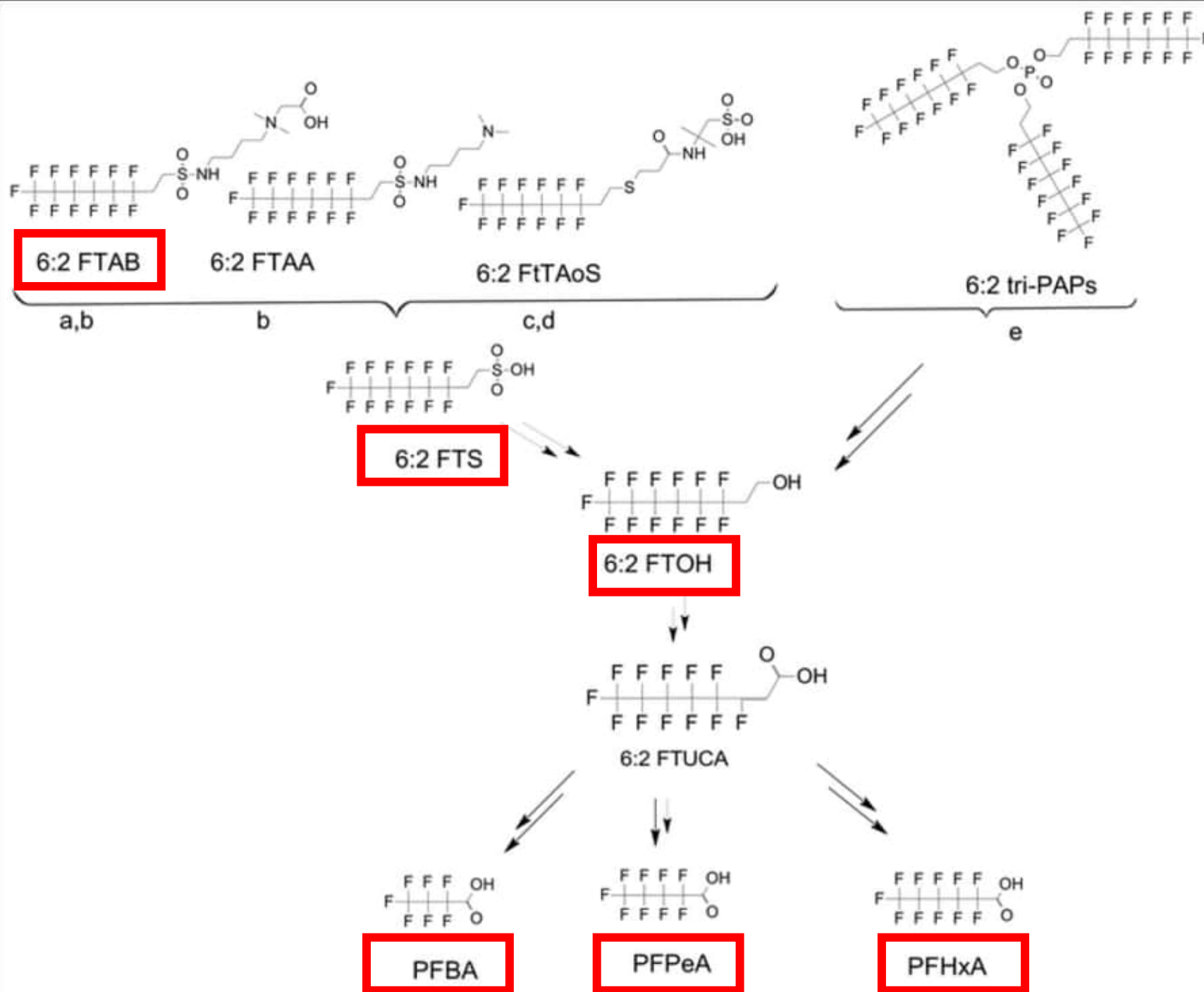
→ → par ex.: PAP → FTOH → PFOA, etc.:

- Dans les composés polyfluorés, il existe un processus de transformation fondamental dans lequel les atomes de carbone terminaux non-fluorés sont séparés.
- Cette dégradation partielle est relativement rapide. Les alkylphosphates polyfluorés (PAP), les esters d'acide carboxylique de fluorotélomères, etc. **peuvent être décomposés en alcools fluorotélomères volatils (FTOH)**, tels que le 6:2-mono-PAP & 6:2-di-PAP envers le 6:2-FTOH.
- **Les FTOH sont transformés microbiologiquement en PFAS perfluorés stables.** Par exemple; le 6:2-FTOH est bio-transformé en PFHxA et PFPeA et le 8:2-FTOH en PFOA, PFHpA, PFHxA, PFPeA et 2H-PFOA



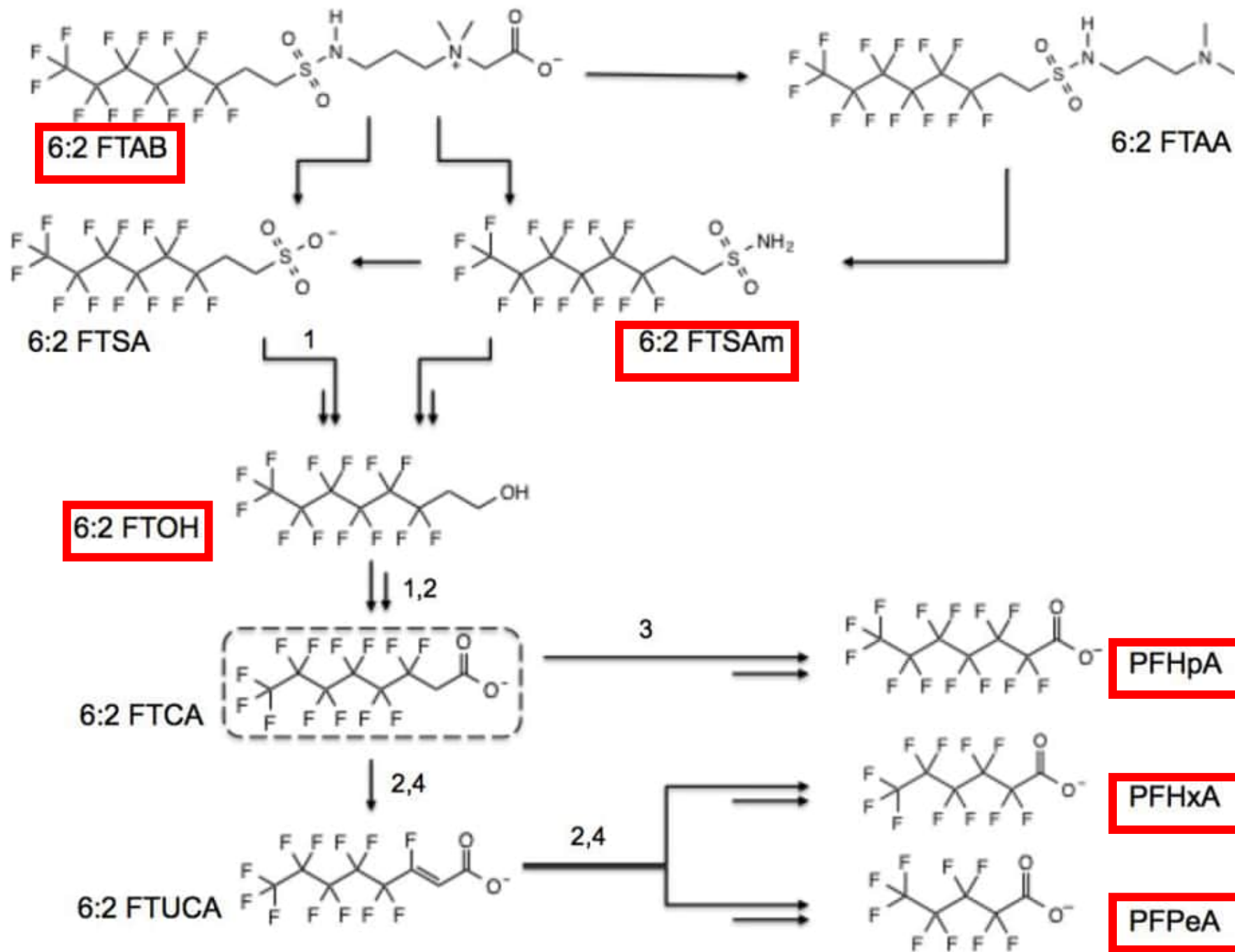
Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé





**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**

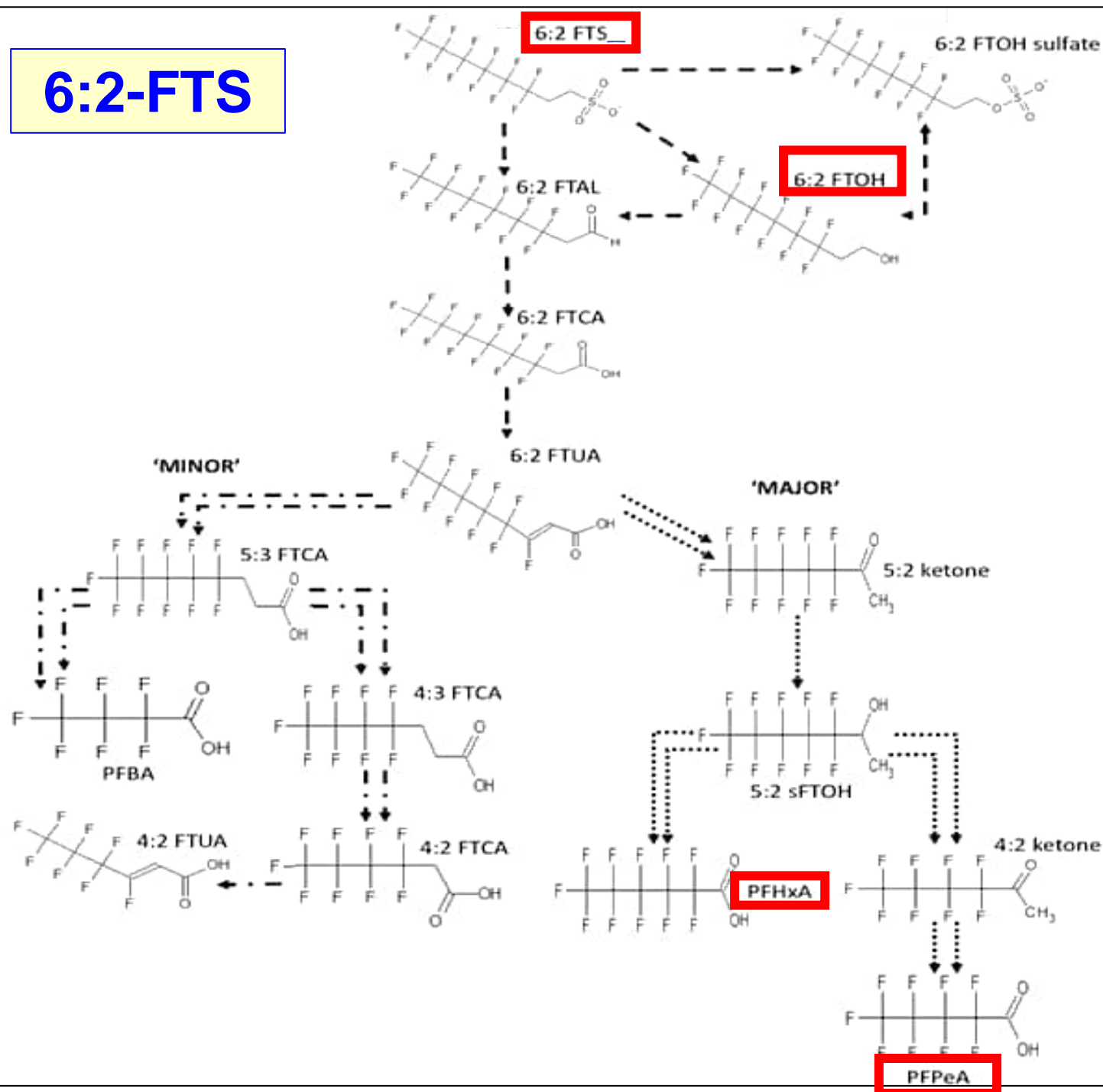
(LaFond et al. 2023, D.M.J. Shaw et al. 2019 ,Ying Shi, 2018 et V. Mendeza et. al. 2022)



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

(Lennard John Trouborst:
2016)

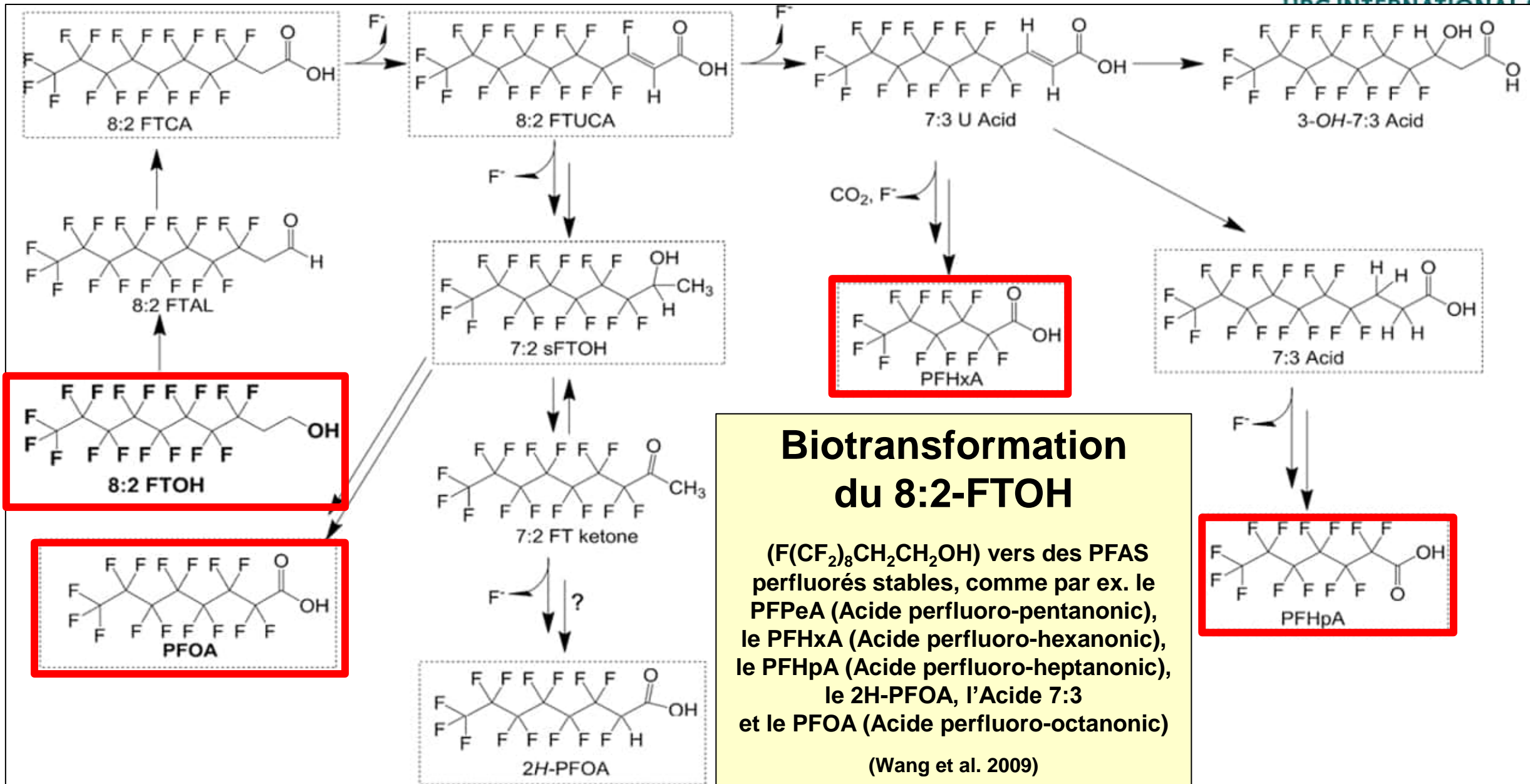
6:2-FTS



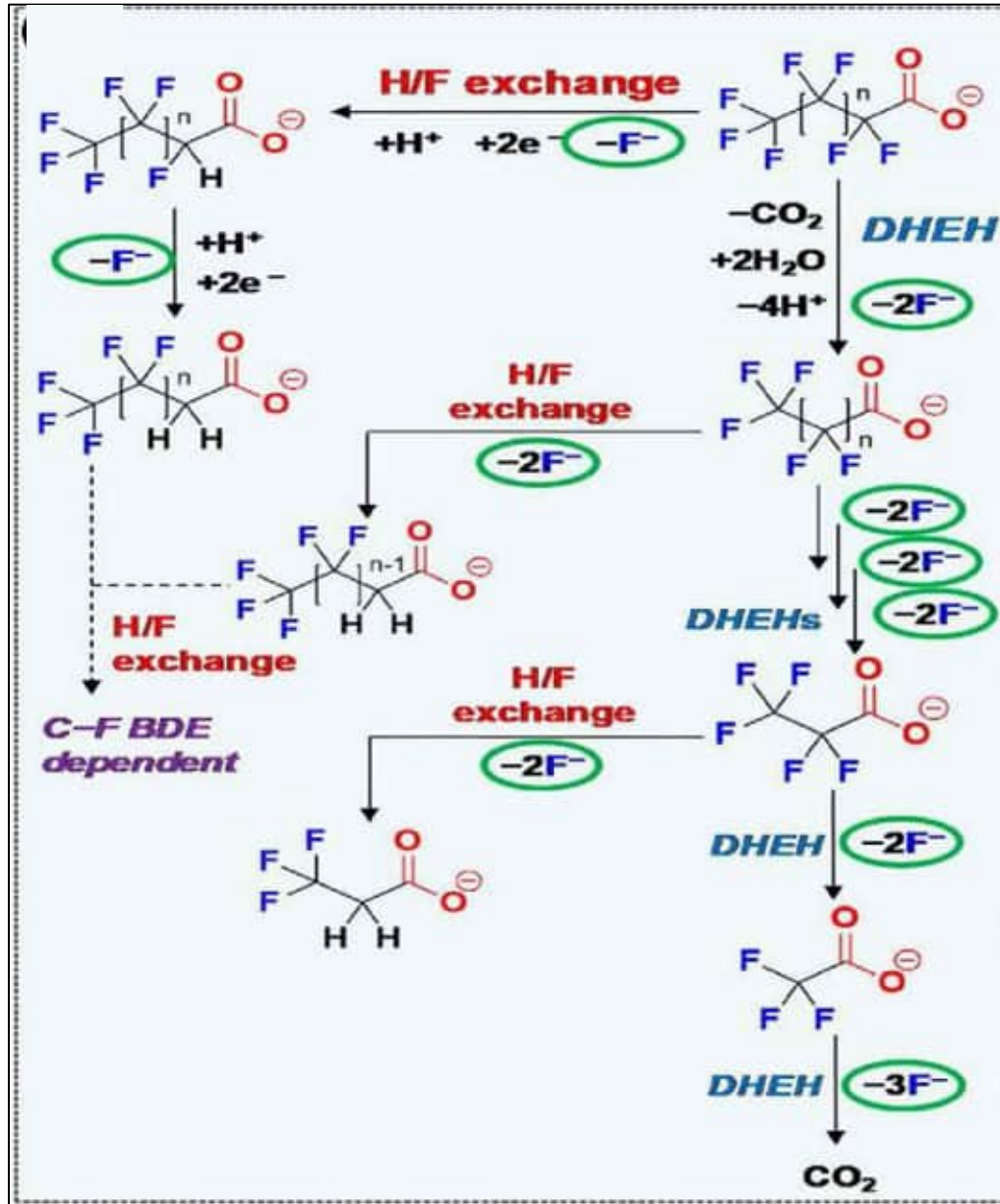
Biotransformation du 6:2-FTS

vers des PFAS perfluorés
stables, comme par ex.:
le PFBA (Acide perfluoro-
butanonique), le PFPeA (Acide
perfluoro-pentanonic),
le PFHxA (Acide perfluoro-
hexanonic)

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



Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé



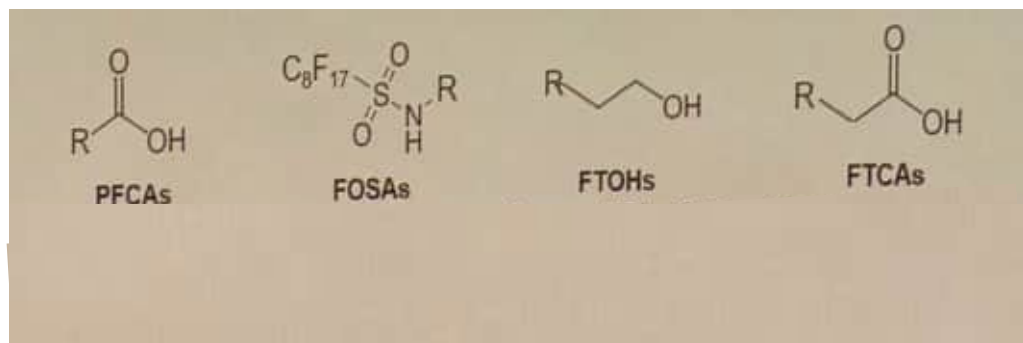
Photochemical defluorination of PFBA to TFA

(Bentel et al. 2019 & Masruck, A. et al. 2020)



PFAS : Chimie Environnementale

Autres PFAS volatils



- **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-méthylacrylates** (par ex. 4:2-FTMAC, **6:2-FTMAC**, 8:2-FTMAC, 10:2-FTMAC),
- **PFADiI: Perfluoroalkyl-di-iodites** (par ex. PFBuDiI, PFH_xDiI, PFODiI),
- **TFMB: Trifluorméthylbenzenes** (z.B. BTFM_{BB}: 1-Brom-3,5-bis(trifluoro-méthyl)benzene).

Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Increasing or Reduction of Solubility and Extractability of some PFAS-Fluorotelomers

Erhöhung bzw. Erniedrigung der Polarität & Löslichkeit einiger PFAS-Fluortelomere

Example: Sea water Impact to Groundwater (HH): Analyses by DIN 38407-42 (solid-liquid extraction) F. KARG 

Acid

pH 6,7

→ to →

pH 7,3

Basic

6:2-FT(S)AB = Capstone B (Fire Fighting Foam)

6:2 Fluorotelomer sulfonamido propyl betaine

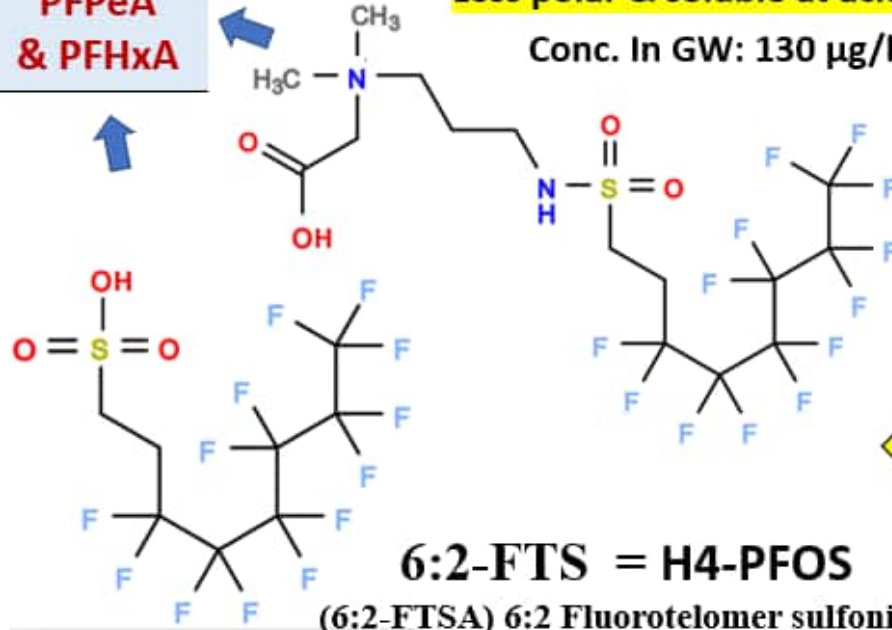
1-Propanaminium, N-(carboxymethyl)-N,N-dimethyl-3-[[[3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctyl)sulfonyl]amino] and inert salt

N-(Carboxymethyl)-N,N-dimethyl-3-[[[3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctyl)sulfonyl]amino]-1-propanaminium and inert salt

**PFPeA
& PFHxA**

Less polar & soluble at acid pH

Conc. In GW: 130 µg/l



6:2-FTS = H4-PFOS

(6:2-FTSA) 6:2 Fluorotelomer sulfonic acid

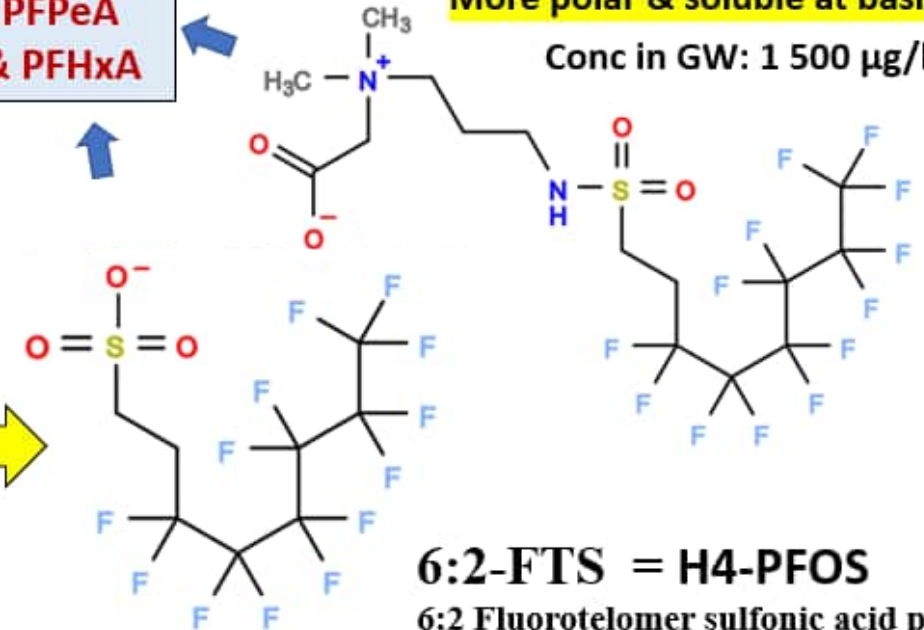
6:2-FT(S)AB = Capstone B (Fire Fighting Foam)

6:2 Fluorotelomer sulfonamido propyl betaine inert salt

**PFPeA
& PFHxA**

More polar & soluble at basic pH

Conc in GW: 1 500 µg/l



6:2-FTS = H4-PFOS

6:2 Fluorotelomer sulfonic acid polar

PFAS (PFC, PFT):

1. PFAS ? : Description des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie
5. Contexte réglementaire & Valeurs limites
6. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
7. Traitements, Dépollution & Décontamination



Investigations et évaluations des risques :

- A éviter, que certains **outils d'échantillonnage** et équipements de laboratoire puissent ajouter des PFAS à des échantillons, notamment via le poly-tétrafluoro-éthylène (PTFE),
- Il faut tenir compte de la **biotransformation** potentielle des PFAS dans l'environnement **pour en créer** davantage des PFOS persistants comme **l'PFOA en particulier**.
- Les analyses doivent être réalisées par **Chromatographie Liquide-Spectrométrie de Masse (LC-SM): DIN 38407-42, ASTM 7979, ISO 21675. Top Assay** pour identifier l'ensemble des PFAS Poly-fluorés par oxydation vers des Acides carboxyliques per-fluorés
- **Pour l'évaluation des risques**, des données toxicologiques (**VTR**) sont à chercher et à actualiser en niveau international.
- Dans le cas des **FTOH dans les Gaz du sol**, recommandation pour les investigations de **l'Air ambiant** (**ERP: Ecoles, Crèches, etc.**)



Paramètres pour les Analyses des PFAS recommandés (min.)

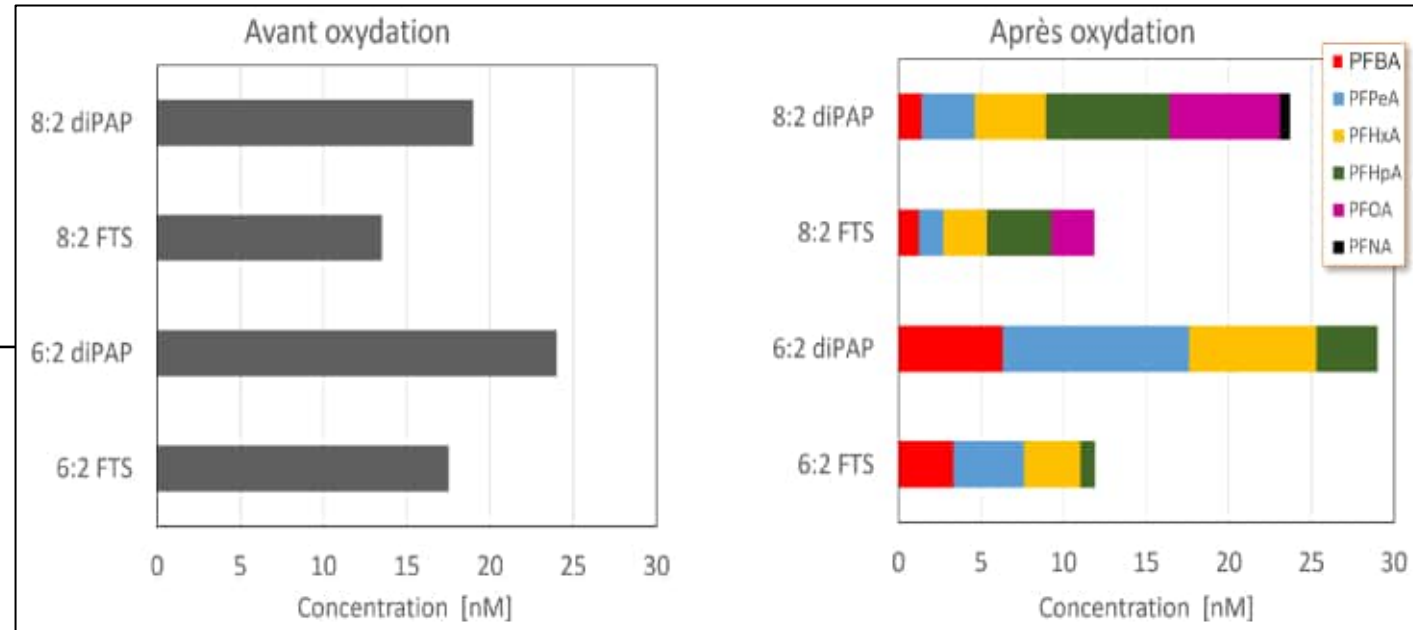
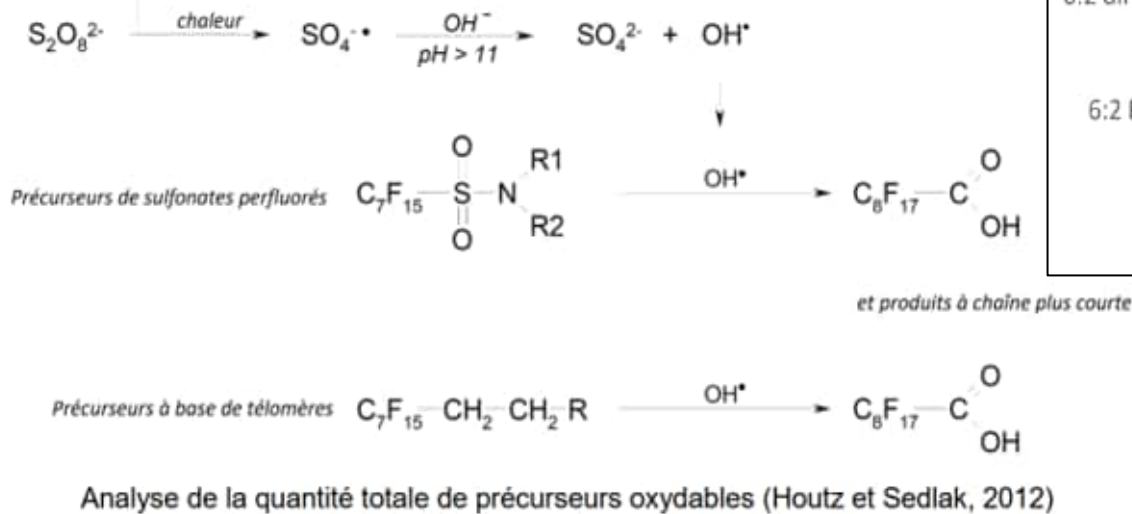
PFAS	LQ Eaux		CAS	VTR	Dir. CE EP2020/ 2184	AM 20/06/23 France	PFAS	LQ Eaux		CAS	VTR	Dir. CE EP2020/ 2184	AM 20/06/23 France
PFBA (acide perfluorobutanoïque)	ng/l	1	375-22-4				MeFOSA ramifié (N-méthylperfluoro-n-octanesulfonamide) (MePFOSA)	ng/l	1	31506-32-8			
PFPeA (acide perfluoropentanoïque)	ng/l	5	2706-90-3				MeFOSA totale (N-méthylperfluoro-n-octanesulfonamide) (MePFOSA)	ng/l	1	31506-32-8			
PFHxA (acide perfluorohexanoïque)	ng/l	1	307-24-4				8:2 DiPAP (8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester)	ng/l	1	678-41-1			
PFHpA (acide perfluoroheptanoïque)	ng/l	1	375-85-9				HFPO-DA (acide hexafluoropropyleneoxide dimer) Gen X	ng/l	1	13252-13-6			
PFOA linéaire (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1				EtFOSA linéaire (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1	4151-90-0			
PFOA ramifié (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1				EtFOSA ramifié (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1				
PFOA totale (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	335-67-1				EtFOSA totale (N-éthylperfluorooctanesulfonamide) (EtPFOSA)	ng/l	1				
PFNA (acide perfluorononanoïque)	ng/l	1	375-95-1				MeFBSAA (perfluorobutanesulfonamide(N-méthyl)acetate)			31-10-9			
PFDA (acide perfluorodécanoïque)	ng/l	1	335-76-2				9CI-PF3ONS (acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique)		1	73606-19-6			
PFA (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	1	2058-94-8				4H-PFUnDa (acide 2H,2H,3H,3H,-perfluorooctanoïque)	ng/l	5	34598-33-9			
PFDa (acide perfluorodécanoïque)	ng/l	2	307-55-1				8:2 FTUCA (acide 2H-perfluoro-2-décanoïque)	ng/l	1	70887-84-2			
PFTTrDA (acide perfluorotétradécanoïque)	ng/l	1	72629-94-8				DONA (acide 4,8-dioxa-3H-perfluorooctanoïque)	ng/l	1	919005-14-4			
PFTeDA (acide perfluorotétradécanoïque)	ng/l	1	376-06-7				MeFBSA (n-méthylperfluorooctanoïque)	ng/l	1	68298-12-4			
PFHxDA (acide perfluorohexadécanoïque)	ng/l	2	67905-19-5				PFBSA (perfluorooctanoïque)	ng/l	1	30334-69-1			
PFODA (acide perfluorooctadécanoïque)	ng/l	1	16517-11-6				PFECHS (perfluorocyclohexanesulfonique)	ng/l	1	646-83-3			
PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	1	375-73-5				PEN (perfluoropentane sulfonique)	ng/l	1	68259-12-1			
PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	1	2706-91-4				PFOS (perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	79780-39-5			
PFHxS linéaire (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	1	355-46-4				6:2 diPAP (diester de phosphate fluorotélomérique. 6:2 diPAP)	ng/l	10	57677-95-9			
PFHxS ramifié (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	1	355-46-4				8:2 diPAP (diester de phosphate fluorotélomérique. 6:2 8:2 diPAP)	ng/l	10	943913-15-3			
PFHxS totale	ng/l	1	355-46-4				PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	ng/l	1	41997-13-1			
PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	1	375-92-8				PFA (acide perfluorooctanoïque)	ng/l	2	749786-16-1			
PFOS linéaire (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1				PFTTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	2	791563-89-8			
PFOS ramifié (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1				EtFOSE (2-(N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol)	ng/l	5	1691-99-2			
PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	1	1763-23-1				MeFOSE (2-(N-methylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol)	ng/l	5	24448-09-7			
PFDS (acide perfluorodécane sulfonique)	ng/l	1	335-77-3				NFDHpA (Nonafluoro-3,6-dioxaheptanoic acid)	ng/l	1	151772-58-6			
4:2 FTS (acide 4:2 fluorotelomer sulfonique) H4-PFOS	ng/l	1	7571-82-4				PFMPA (Perfluoro-3-methoxypropanoic acid)	ng/l	1	377-73-1			
6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	7571-82-4				PFMBA (perfluoro-4-methoxybutanoic acid)	ng/l	1	863090-89-5			
8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	7571-82-4				C6O4 (Perfluoro([5-methoxy-1,3-dioxolan-4-yl]oxy)acetic acid)	ng/l	10	1190931-41-9			
10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	1	7571-82-4				6:2-FTOH (6:2 fluorotelemer alcohol) FHET	ng/l	20	647-42-7			
MePFOSAA (acide N-méthylperfluorooctane sulfonamide)	ng/l	1	2355-31-9				8:2-FTOH (8:2 fluorotelemer alcohol) FOET	ng/l	10	678-39-7			
EtFOSA (acide N-éthylperfluorooctane sulfonamide)	ng/l	1	2991-50-6				6:2-FTAB (6 :2 fluorotelomer sulfonamido propyl betaine)			34455-29-3			
PFOSA linéaire (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	2	754-91-6				Capstone B	ng/l	10				
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										

For more information: Please contact the Author: frank.karg@hpc-international.com

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

TOP-Assay: Total Oxidizable Precursor

(Houtz and Sedlak: 2012, Glöckner et al.: 2021)



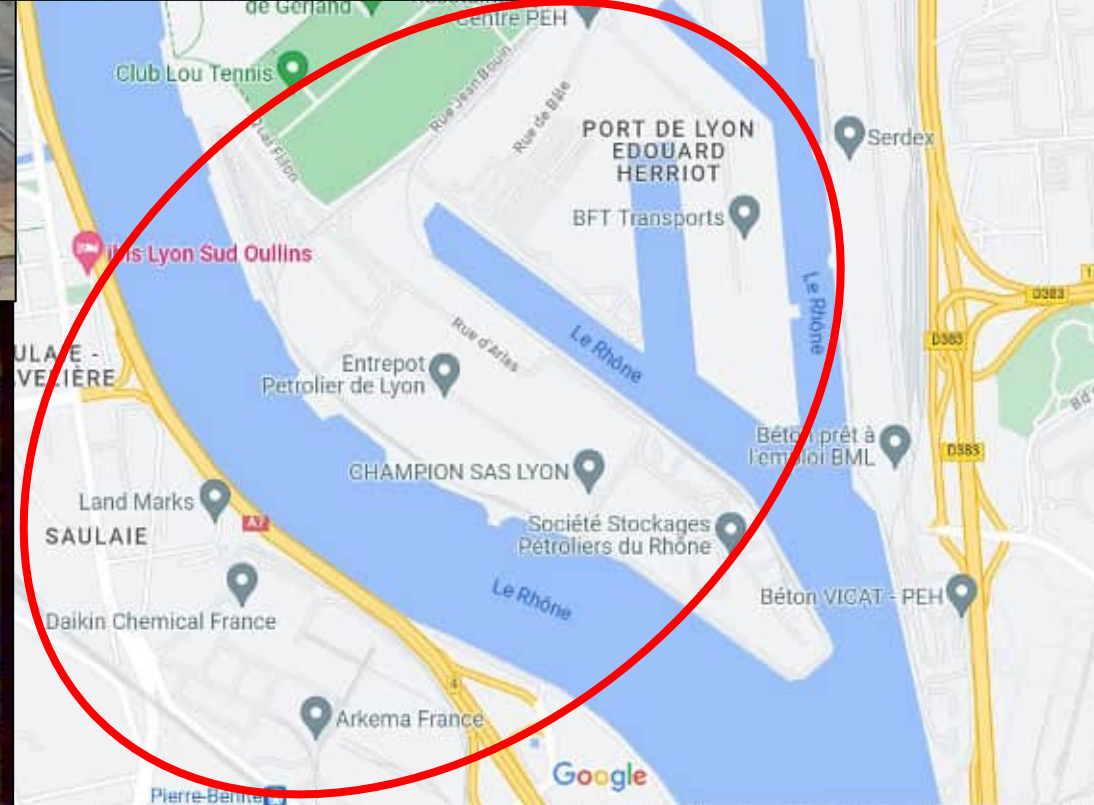
Quantifier les PFAS poly-fluorés inconnus et leurs Acides carboxyliques perfluorés finaux correspondants à prendre en compte dans une EQRS.

Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

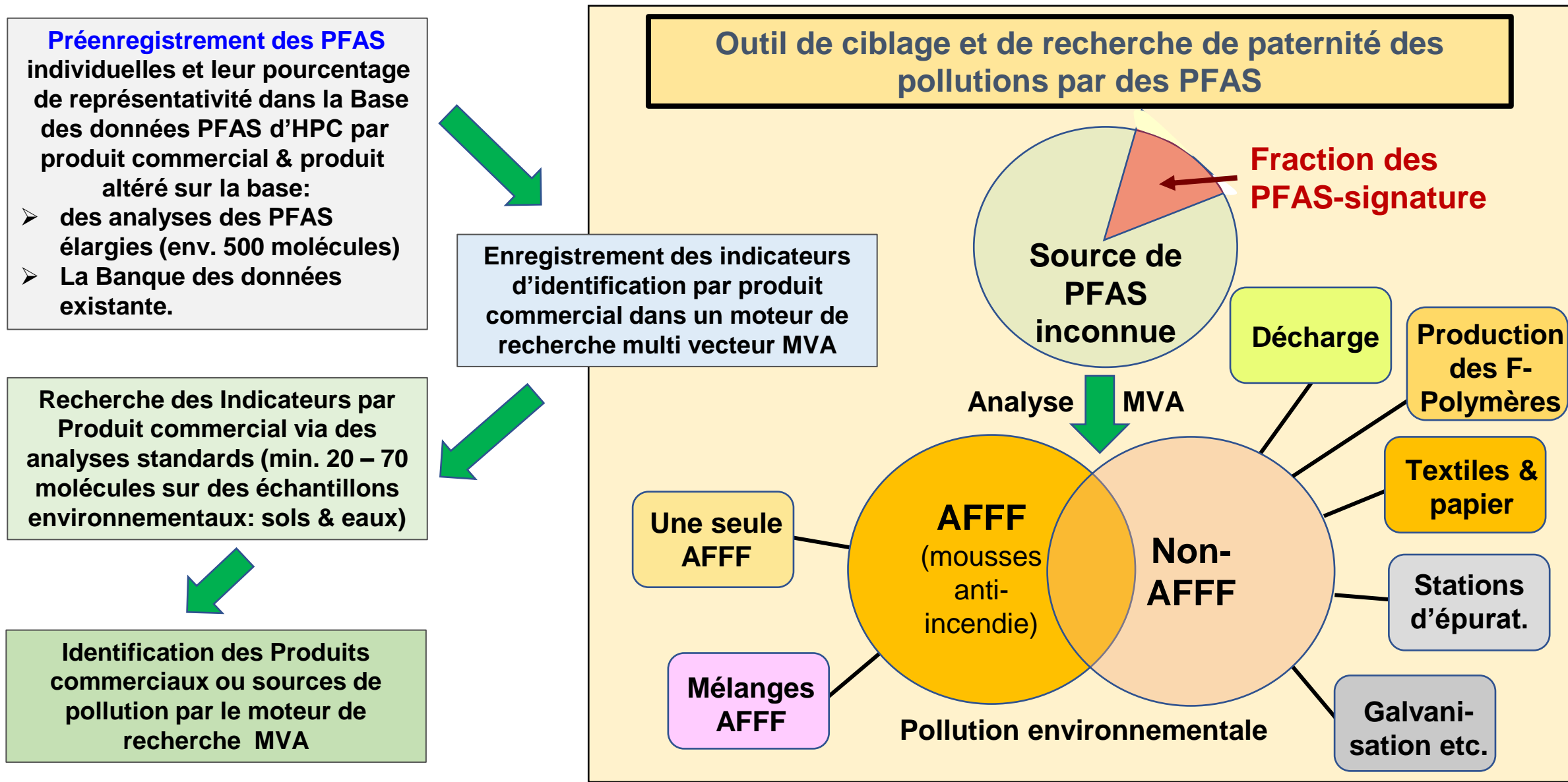
Incendie: Port Edouard-Herriot : 1987



Nécessité de vérifier la
qualité des eaux
souterraines et le Rhône
(ESO & sédiments)

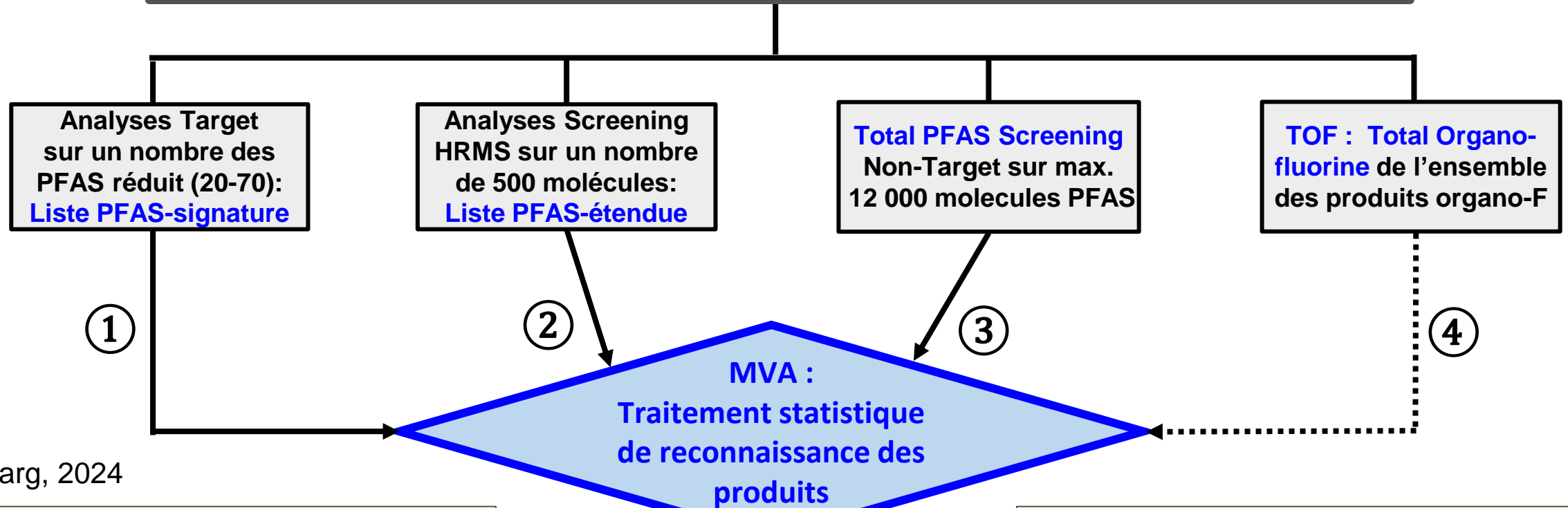


PFAS: Identification des produits et sources d'origine des pollutions en utilisant « Liste PFAS-signature »



Identification de la paternité des produits commerciaux & des sources de pollution des PFAS

Prélèvements & analyses des sols & eaux: Base des données & Outil



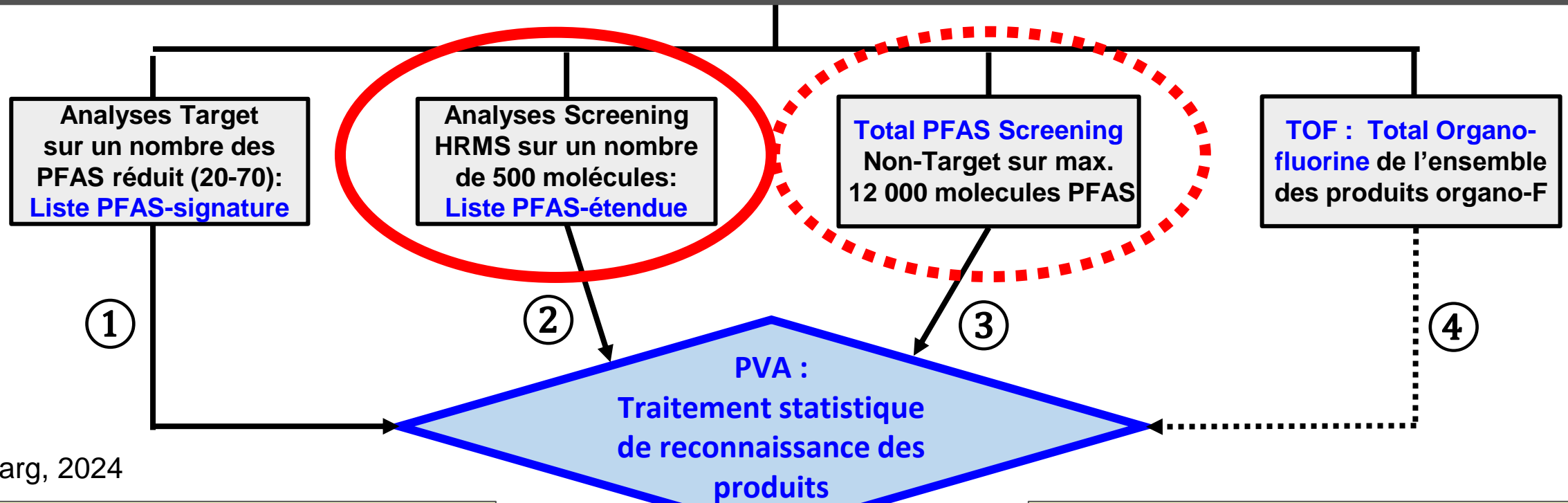
F. Karg, 2024

- ① Analyses de la « Liste PFAS Signature » à soumettre au MVA (Multi Vector Analysis).
- ② Entrée des données d'identifications des analyses « Liste PFAS-étendue »
- ③ Entrée des données d'identifications des analyses du Screening Total des PFAS très détaillés (uniquement pour des Spectres des PFAS individuels par produit commercial de Battelle)

- ④ Analyse TOF (Total Organo-Fluorine); uniquement si besoin. Aucun détail concernant des molécules individuelles n'est obtenu.
- ⑤ Identification des produits commerciaux à la base des spectres de la « Liste PFAS-étendue » dans la base des données PFAS HPC International.
- ⑥ Identification des produits commerciaux à la base des spectres de Base des données Battelle

Identification de la paternité des produits commerciaux & des sources de pollution des PFAS: **Pré-enregistrement des spectres PFAS (Data Bank)**

Prélèvements & analyses des sols & eaux: Base des données & Outil : **Enregistrement des étalons**



F. Karg, 2024

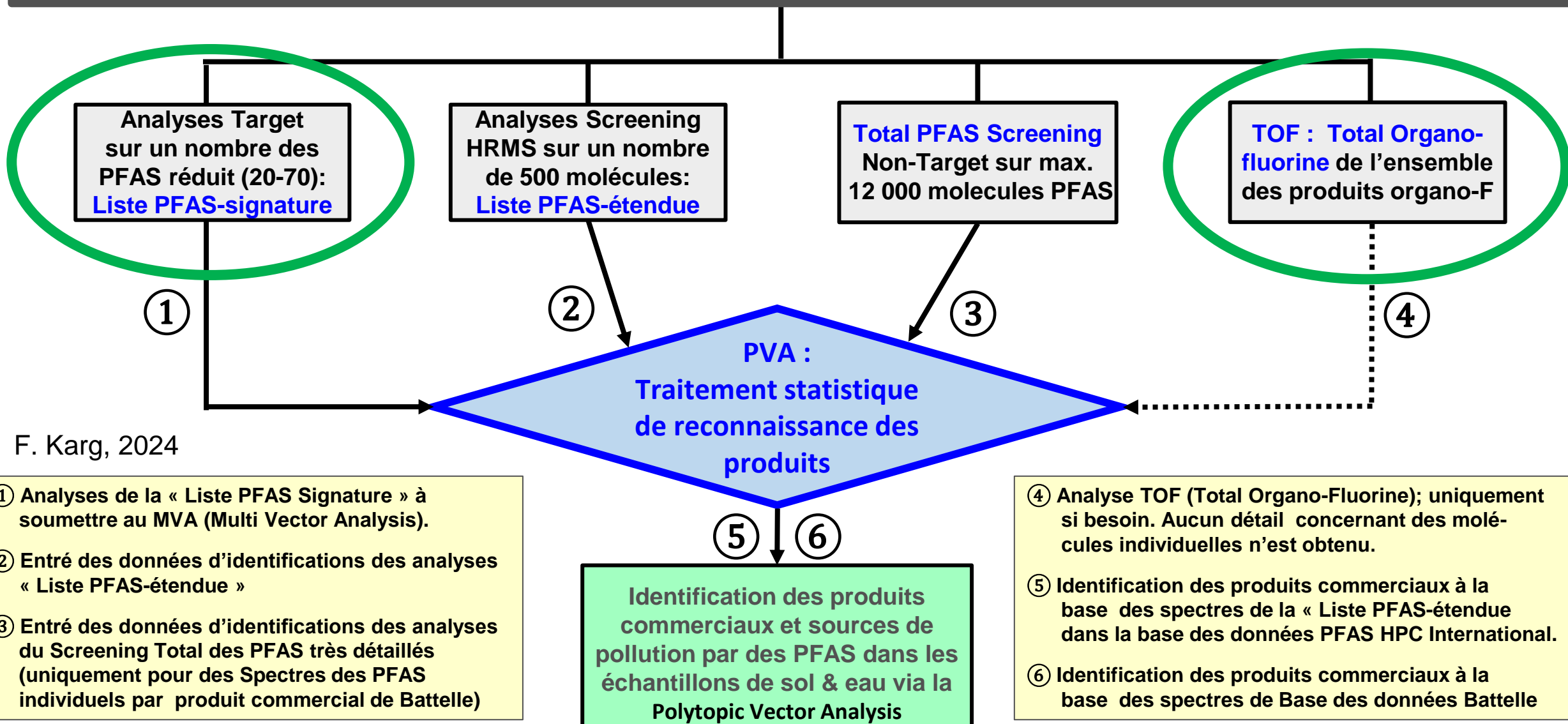
- ① Analyses de la « Liste PFAS Signature » à soumettre au MVA (Multi Vector Analysis).
- ② Entrée des données d'identifications des analyses « Liste PFAS-étendue »
- ③ Entrée des données d'identifications des analyses du Screening Total des PFAS très détaillés (uniquement pour des Spectres des PFAS individuels par produit commercial de Battelle)

- ④ Analyse TOF (Total Organo-Fluorine); uniquement si besoin. Aucun détail concernant des molécules individuelles n'est obtenu.
- ⑤ Identification des produits commerciaux à la base des spectres de la « Liste PFAS-étendue dans la base des données PFAS HPC International.
- ⑥ Identification des produits commerciaux à la base des spectres de Base des données Battelle

Identification des produits commerciaux et sources de pollution par des PFAS dans les échantillons de sol & eau via la Polytopic Vector Analysis

Identification de la paternité des produits commerciaux & des sources de pollution des PFAS: **Analyses des Echantillons & Identification des sources**

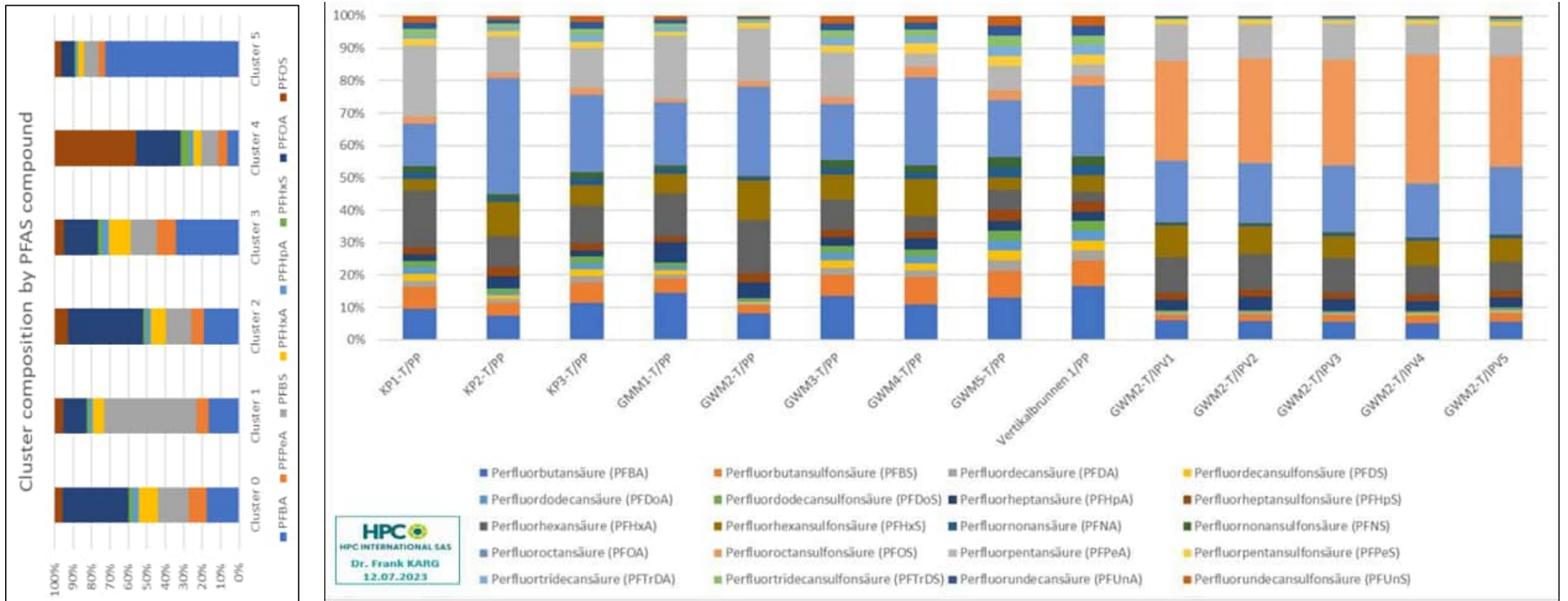
Prélèvements & analyses des sols & eaux: Base des données & Outil / **Analyses de routine (+ Top Assay)**



F. Karg, 2024

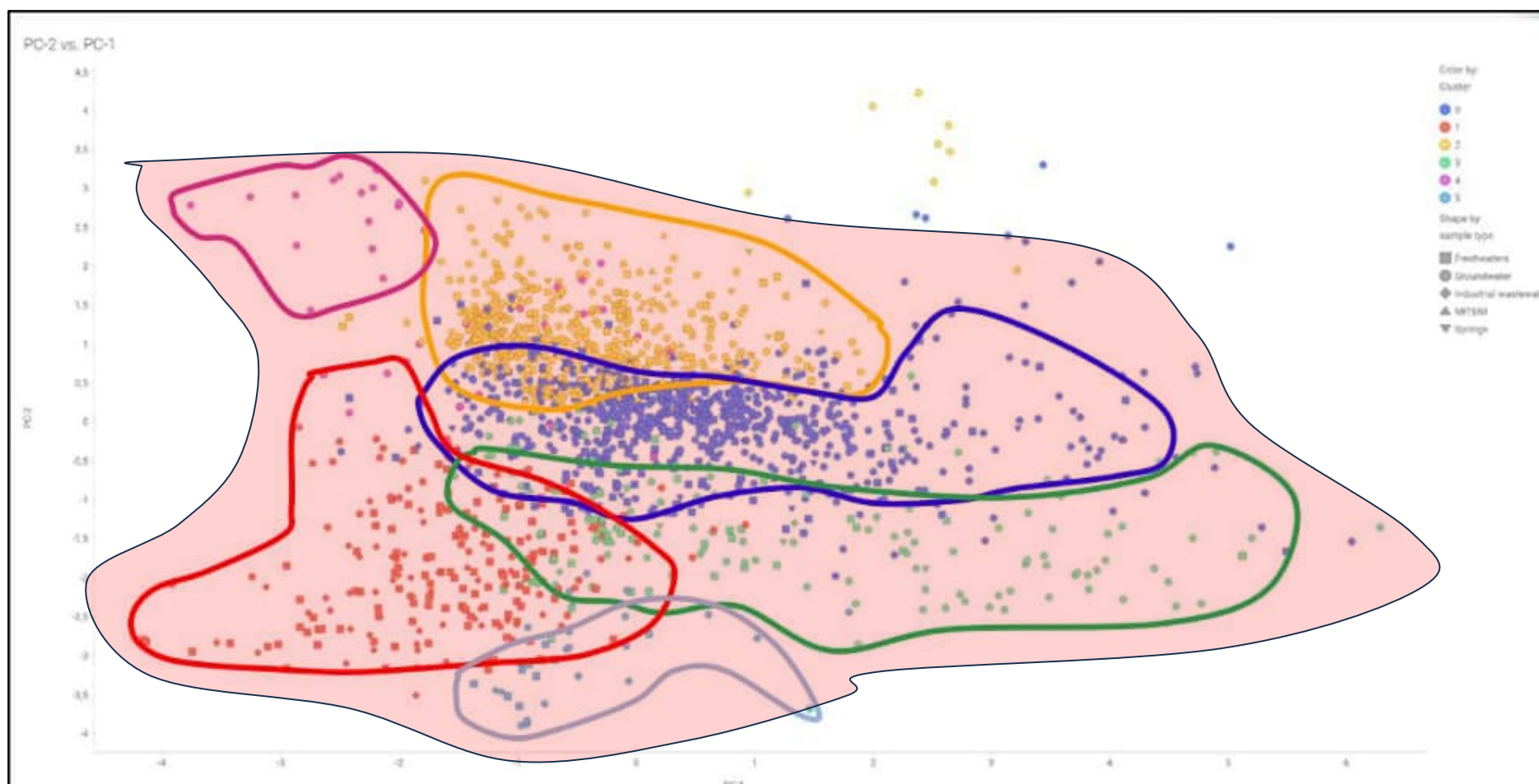
Investigations et évaluations des risques :

Des analyses des **Clusters PFAS** pourront **identifier les origines** industriels ou des produits ayant provoqués les pollutions environnementales par les PFAS

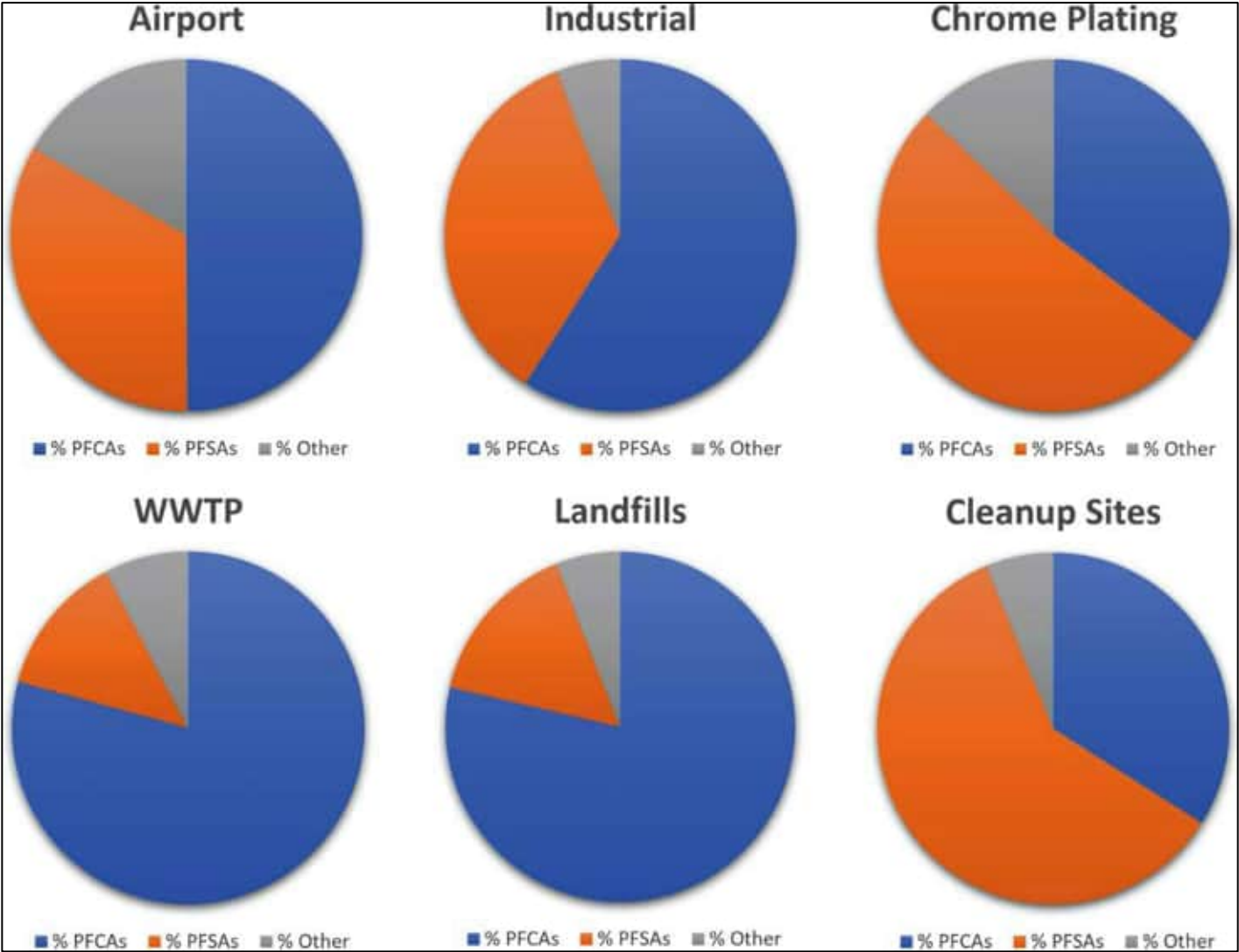


Identifications et differentiations des source PFAS:

Identification de 6 produits d'origines via des analyses des **Clusters PFAS** (zone de 761 ha et 472 analyses des eaux souterraines et aux superficielles dans le Nord-Est d'Italie).

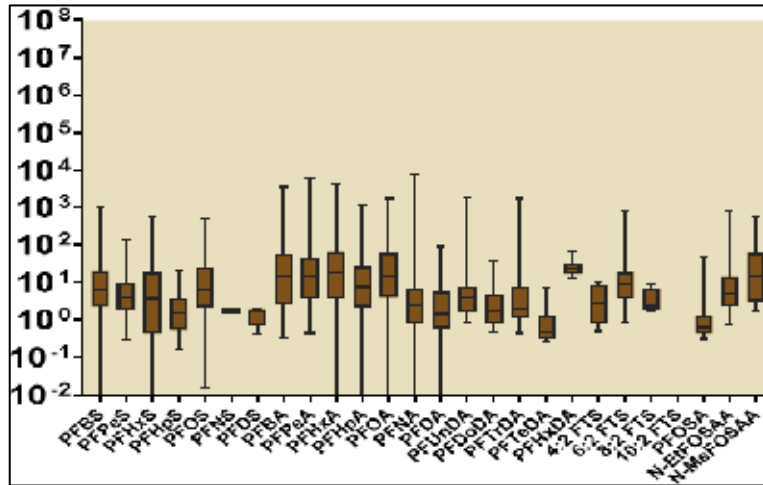


PFAS Distributions & Différenciations :

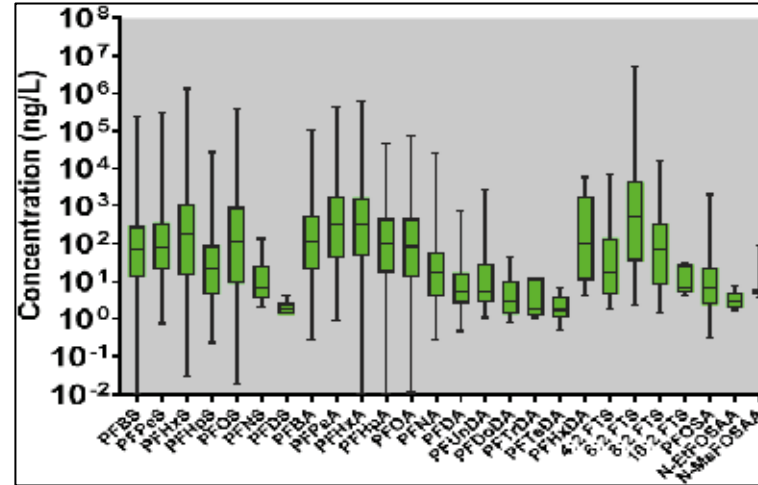


Identification des Sources PFAS via Polytopic Data Bank et AI-MVA-Tool (Artificial Intelligence Multi-Vector-Analysis)

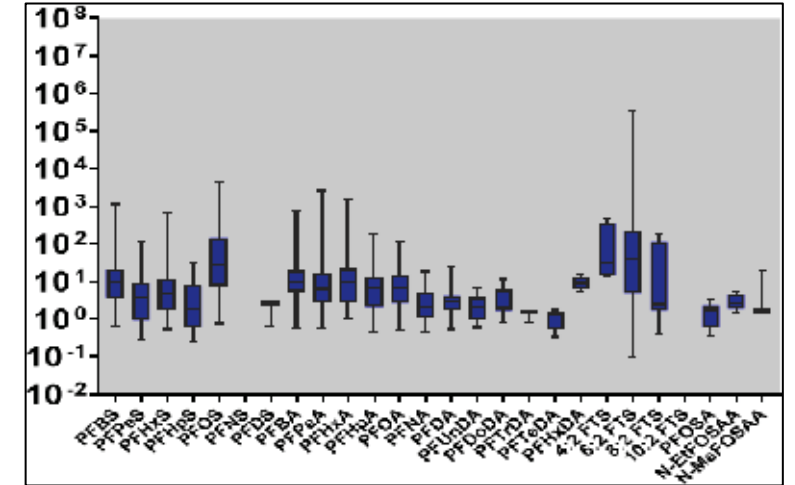
Exemples Statistiques basés sur plus que 800 000 Analyses Environnementales (NAS, 2023)



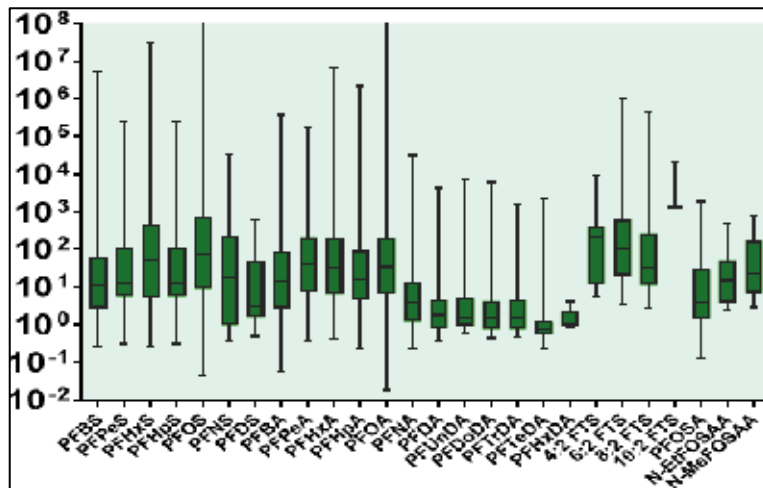
Household Landfills



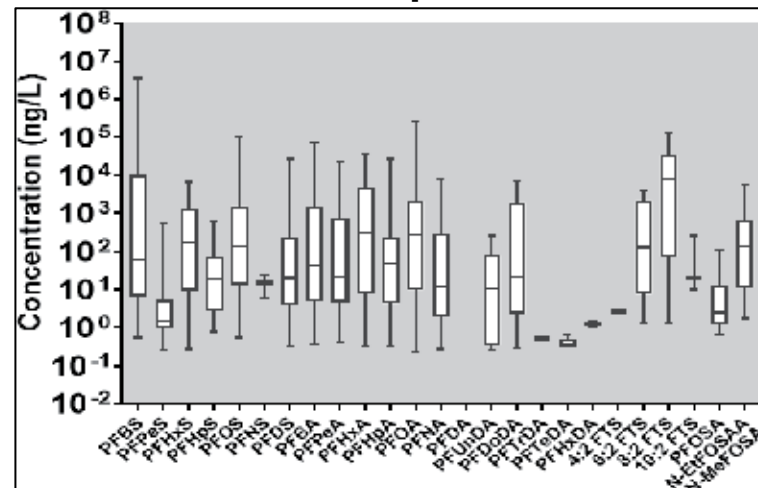
Civil Airports



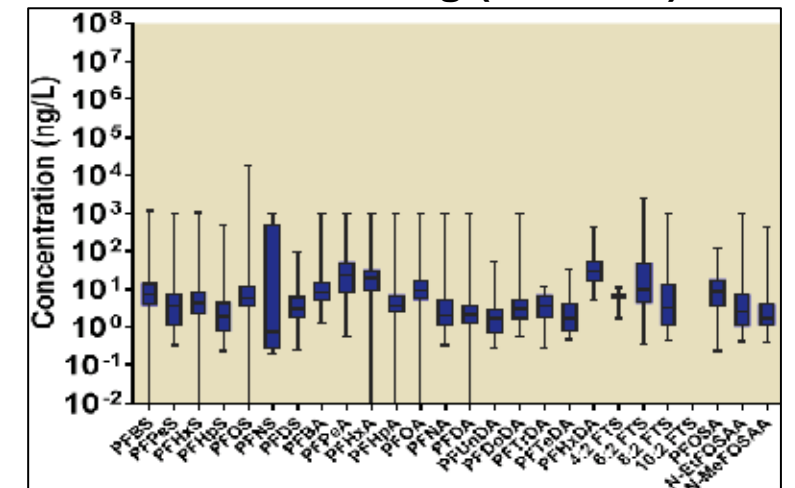
Chrome Plating (Galvanik)



Military Airports



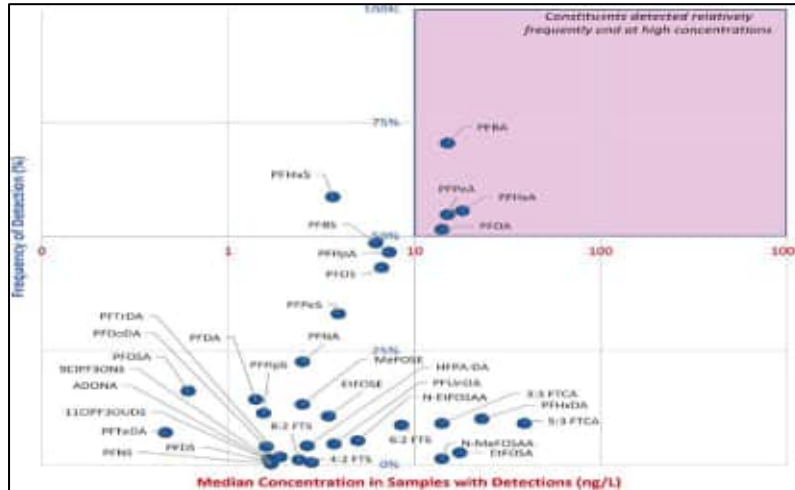
Industrial Sites (Polymers etc.)



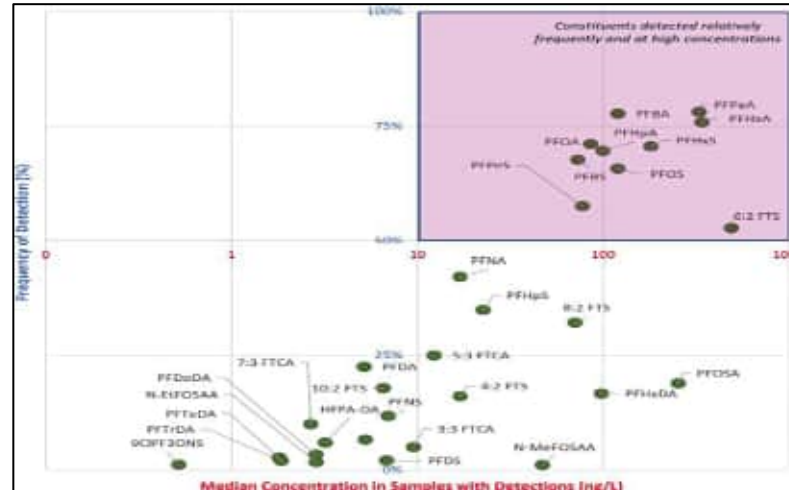
WWTPs (Wastewater & WWTP Sludge)

Identification des Sources PFAS via Polytopic Data Bank et AI-MVA-Tool (Artificial Intelligence Multi-Vector-Analysis)

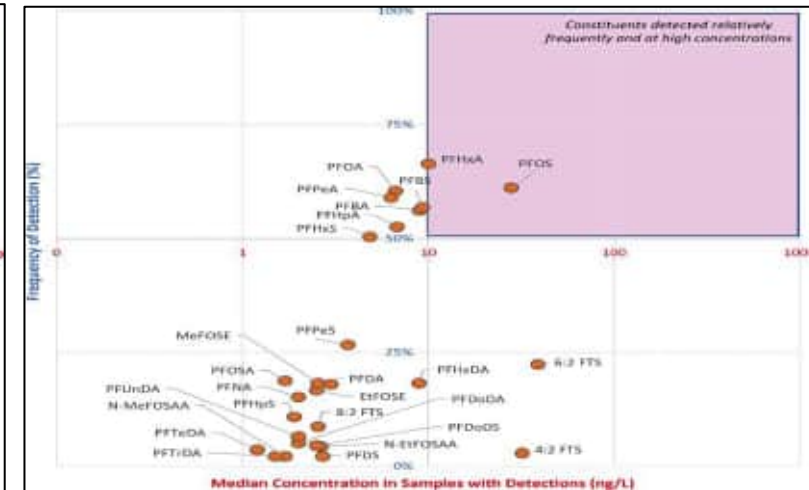
Exemples Statistiques basés sur plus que 800 000 Analyses Environnementales (NAS, 2023)



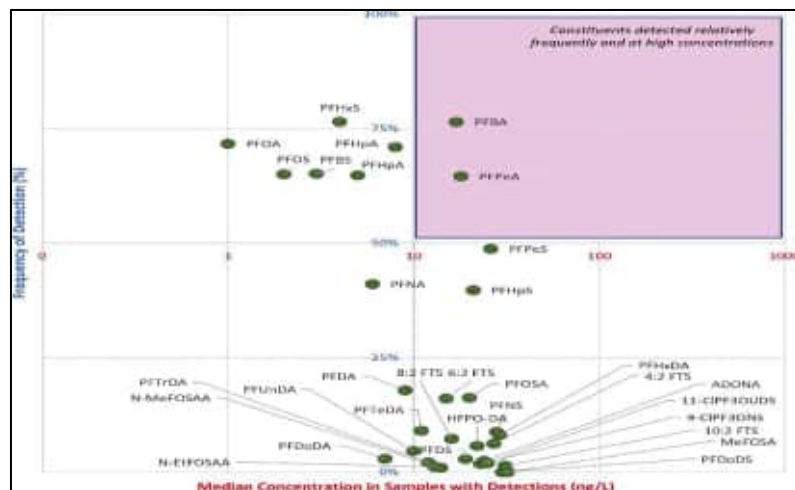
Household Landfills



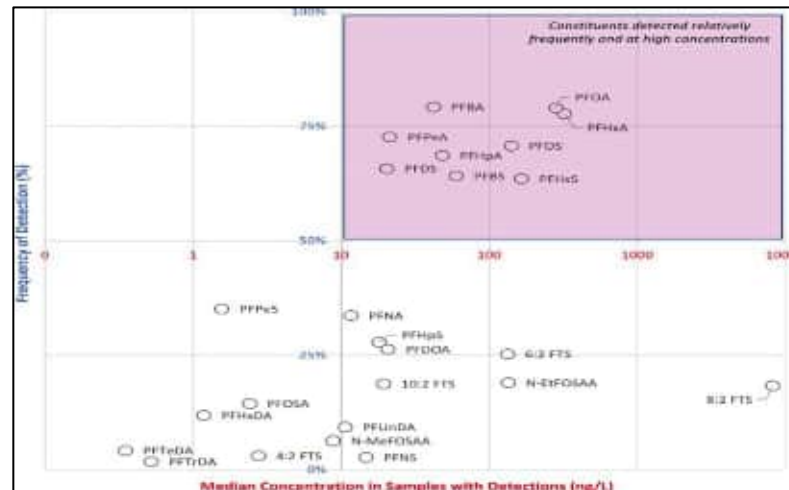
Civil Airports



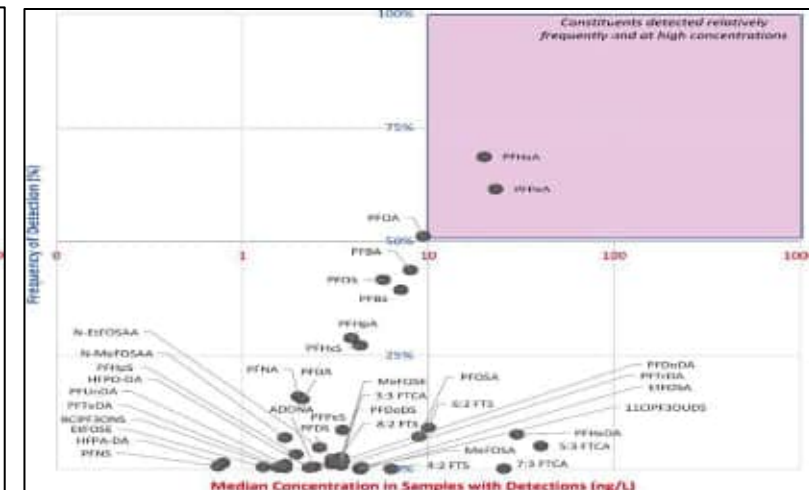
Chrome Plating (Galvanik)



Military Airports



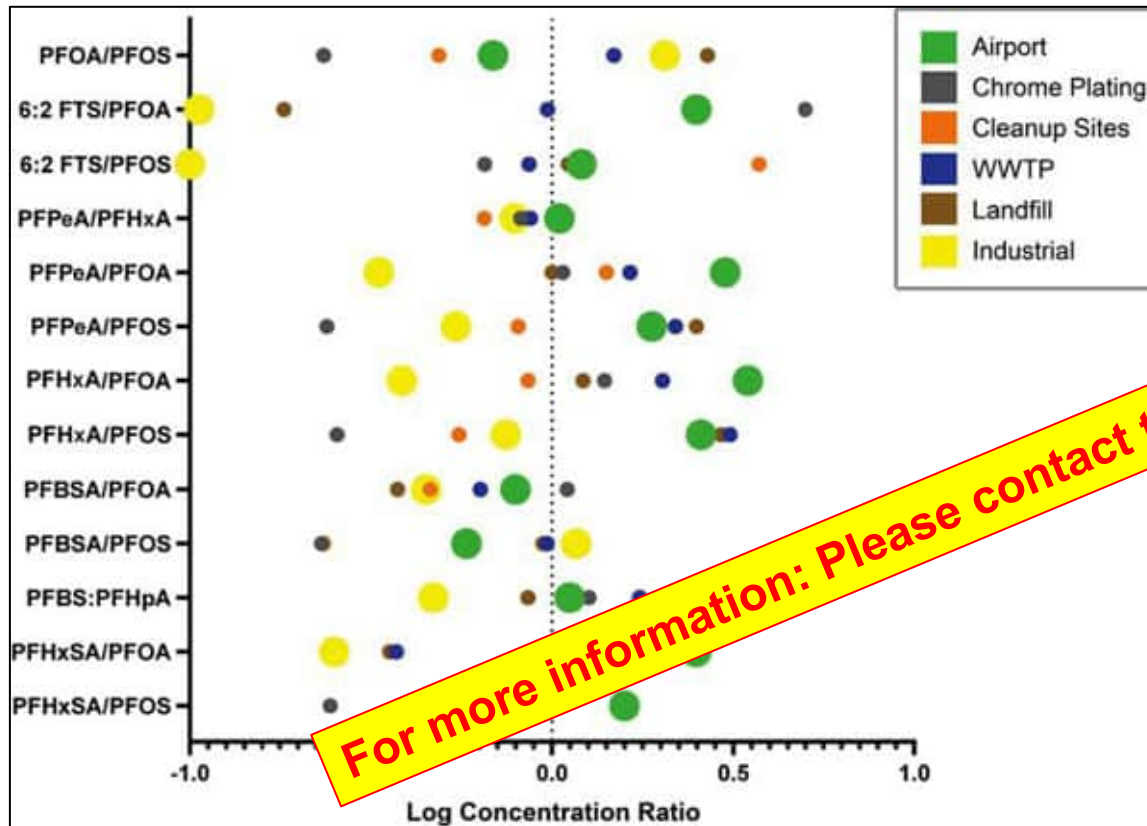
Industrial Sites (Polymers etc.)



WWTPs (Wastewater & WWTP Sludge)

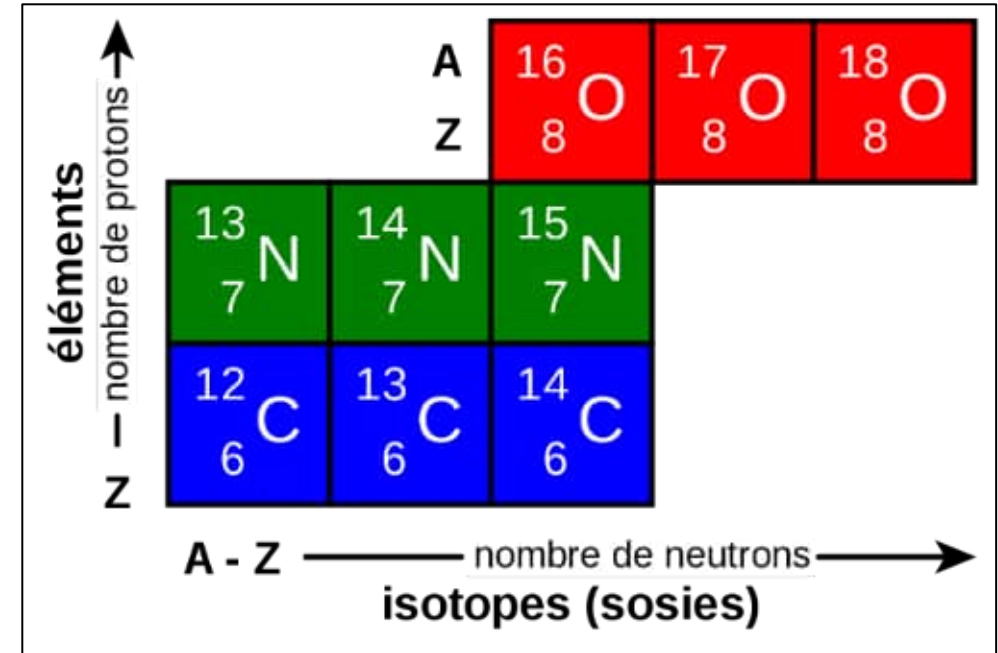
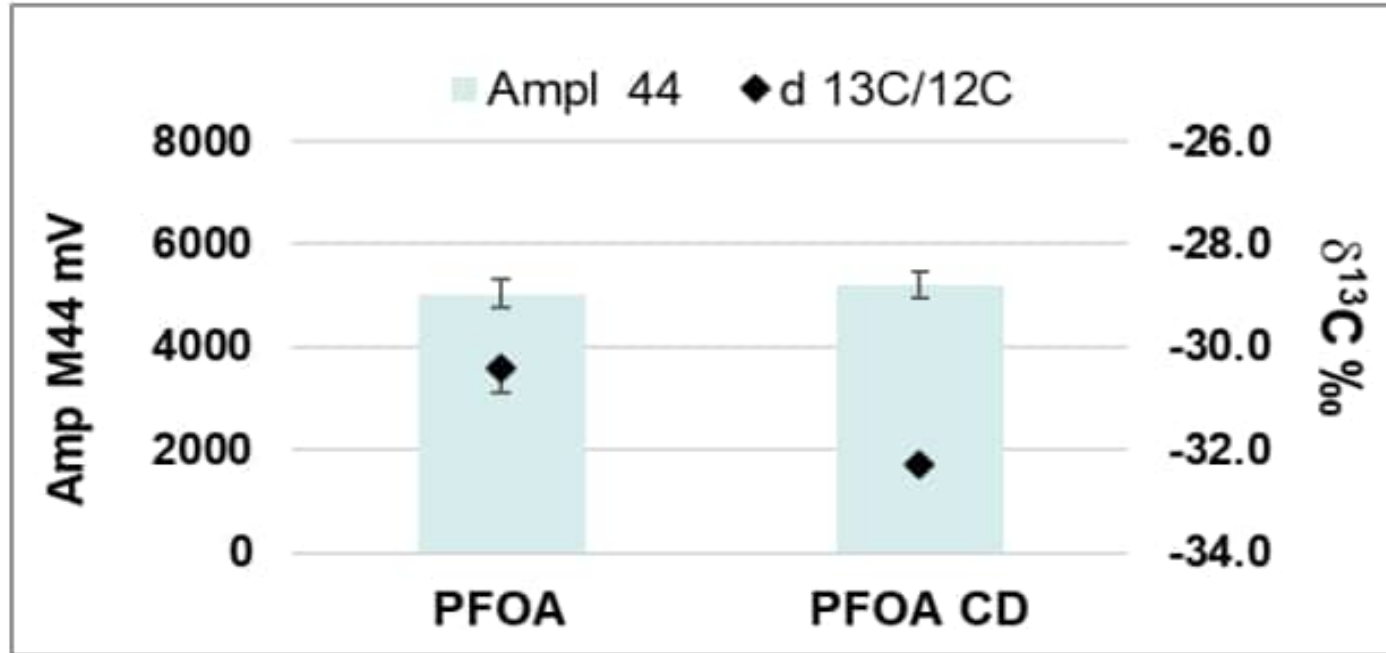
Identification des Sources PFAS via Polytopic Data Bank et AI-MVA-Tool (Artificial Intelligence Multi-Vector-Analysis)

Exemples Statistiques basés sur plus que 800 000 Analyses Environnementales (NAS, 2023)



Ratios des concentrations médianes entre des différents PFCAs and other PFAS

PFAS-Source-Identification via Isotope Ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) :

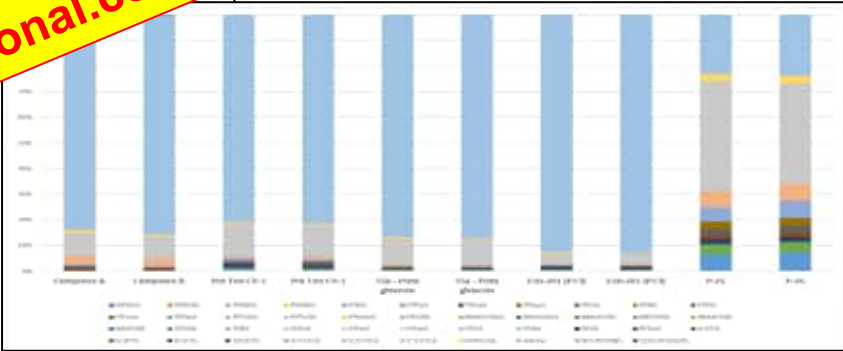
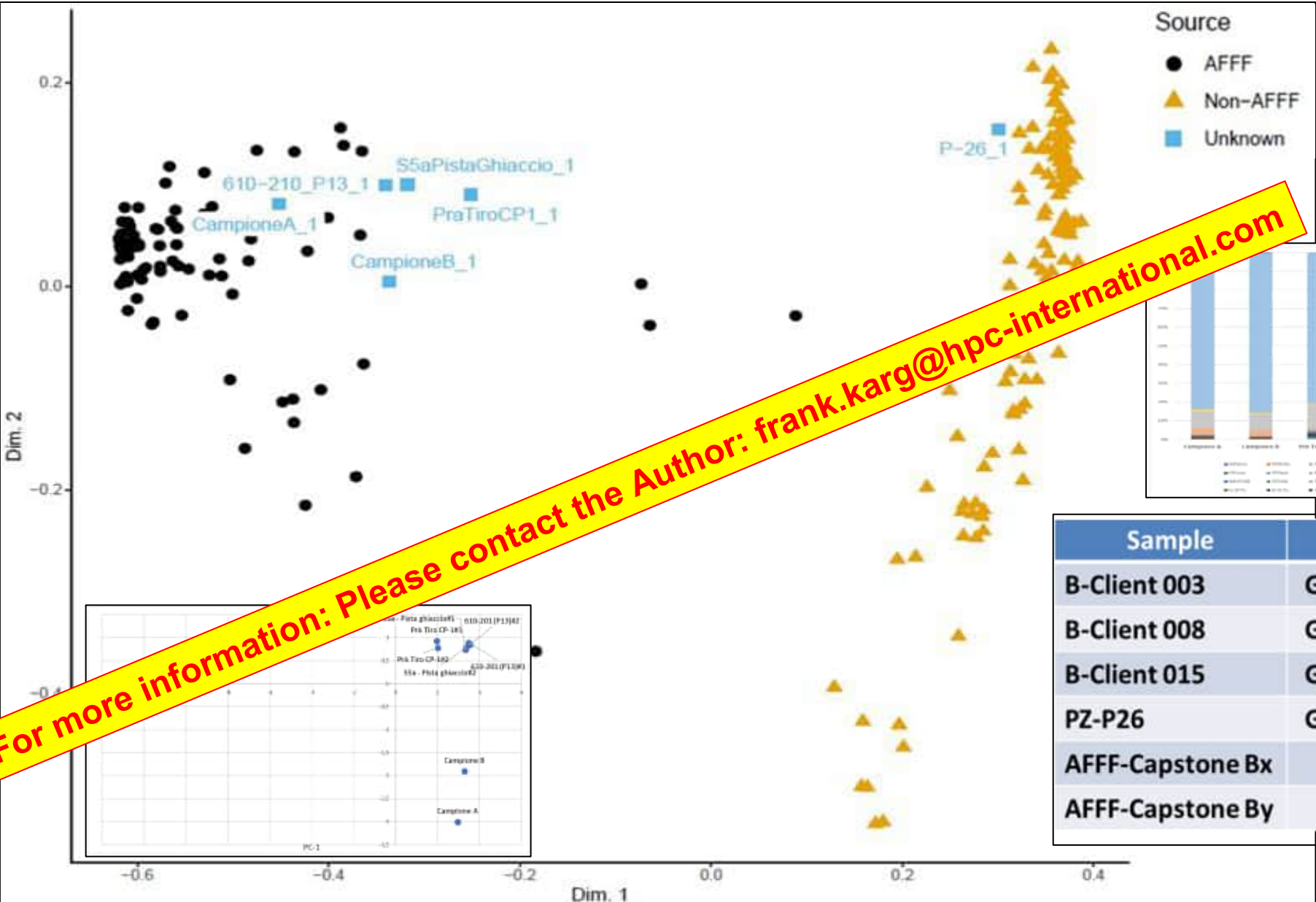


Application $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Ratios for identification of PFAS Sources: Example of PFOA (Kuntz 2023).
PFAS Source Identifications with Sulfur-Isotopes for PFOS, etc. is in development.



Identification des Sources PFAS via Polytopic Data Bank et AI-MVA-Tool (Artificial Intelligence Multi-Vector-Analysis)

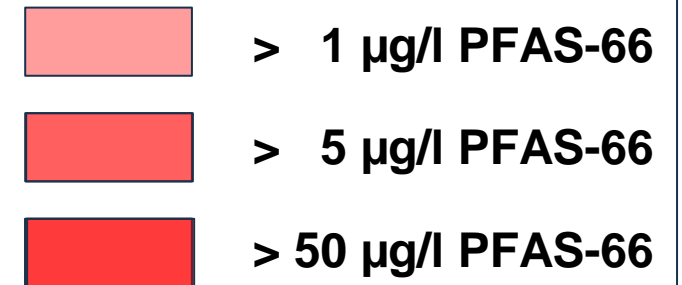
Source Differentiation in different Clusters, based on individual Ratios: CH (PFCAs to other PFAS)



Sample	Type	AFFF	Non-AFFF
B-Client 003	Groundwater	66 %	34 %
B-Client 008	Groundwater	69 %	31 %
B-Client 015	Groundwater	78 %	22 %
PZ-P26	Groundwater	18 %	82 %
AFFF-Capstone Bx	AFFF	85 %	15 %
AFFF-Capstone By	AFFF	96 %	4 %

PFAS-66 total Presence in Groundwater

Identified PFAS
Sources S1 – S3



For more information: Please contact the Author: frank.karg@hpc-international.com

✕ Q1

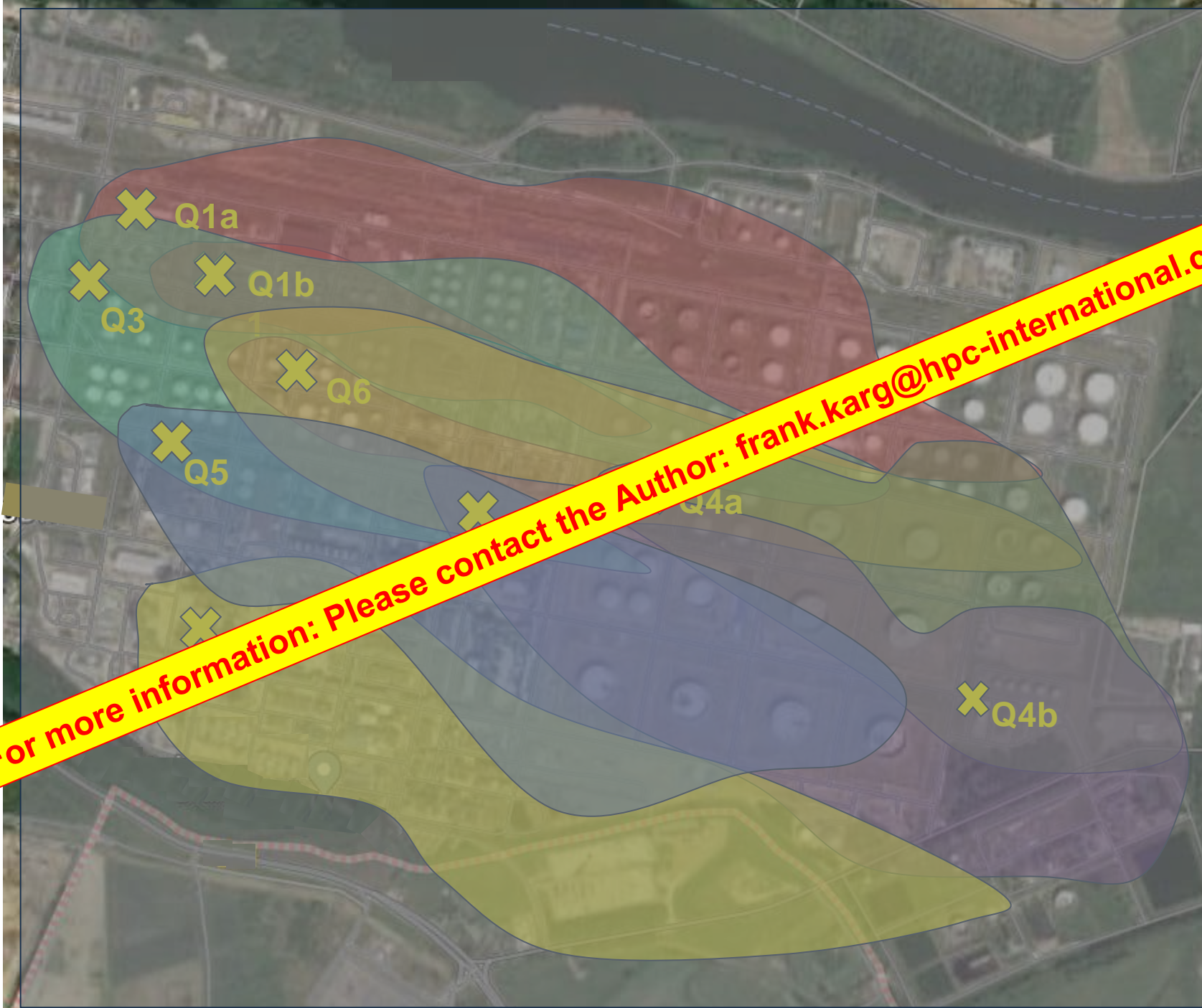
✕ Q2

PFAS-Sources In Groundwater

**MVA-AI: Dominating Clusters:
Sources S1 – S9**

Q1ab: AFFF	6:2-FTAB, 6:2-FTS, 6:2-FTOH, PFHxA, PFPeA, PFBA, PFOS..
Q2: AFFF 2	6:2-FTS, 6:2-FTAB, 6:2-FTOH, PFHxA, PFPeA, PFOA, PFHxS
Q3: AFFF 3	6:2-FTS, 6:2-FTOH, PFHxA, PFPeA, PFBA, PFHxS, PFBS.
Q4ab: Galv	PFHxA, PFPeA, PFOA, PFBA, PFOS, PFBS, PFHpA, PFBS...
Q5: Landfill	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOA, PFHpA, 8:2-FTOH, 5:3-FTCA..
Q6: Surfact	4:2-FTS, 6:2-FTS, PFHxS, PFBS, 6:2-FTOH, PFHxA....
Q7: Surfact	6:2-FTS, PFHxS, PFBS, 6:2-FTOH, PFHA, PFPeA, PFBA...

For more information: Please contact the Author: frank.karg@hpc-international.com

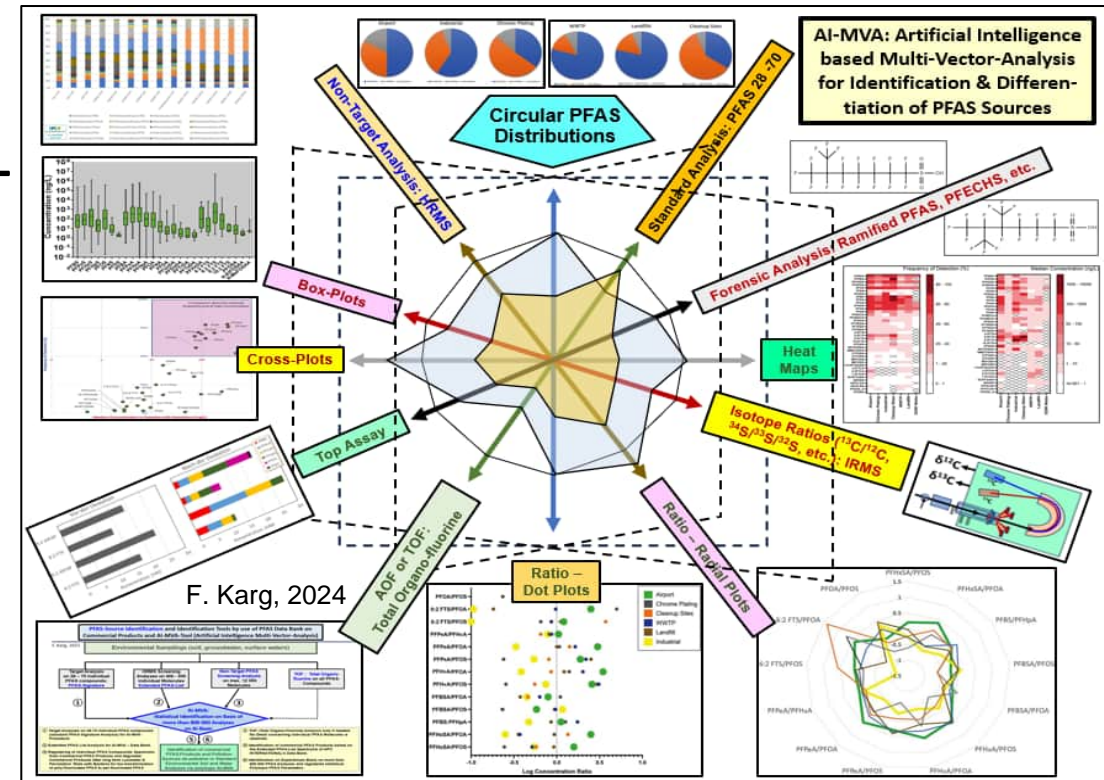


Conclusion :

- Il existe plus que 9 000 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 volatils : Alcools fluoro-télomères, etc.,
- Les PFAS polyfluorés sont bio-transformés en PFAS per-fluorés 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....
- L'application du Top Assay pourra couvrir les PFAS poly-fluorés

MVA-IA

Contact: frank.karg@hpc-international.com



- L'identification et différenciation des sources de pollution PFAS est possible et même l'identification des produits commerciaux à l'origine dans les panaches des mélanges de plusieurs sources des PFAS.
→ Ceci nécessite l'application de la MVA-IA: Multi-Vecteur-Analyse sur base de l'Intelligence Artificielle

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

