

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

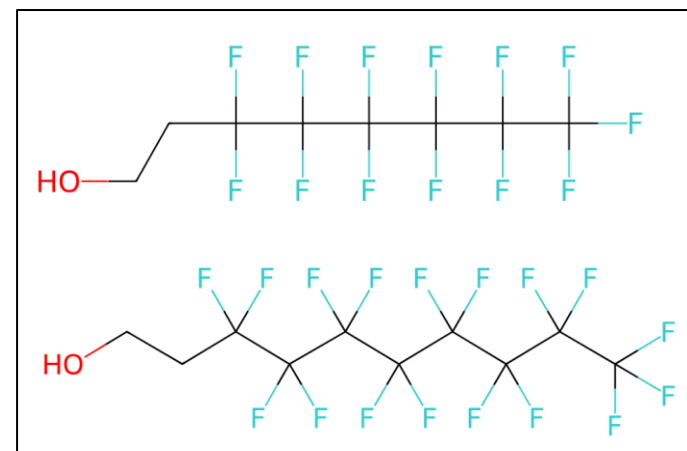
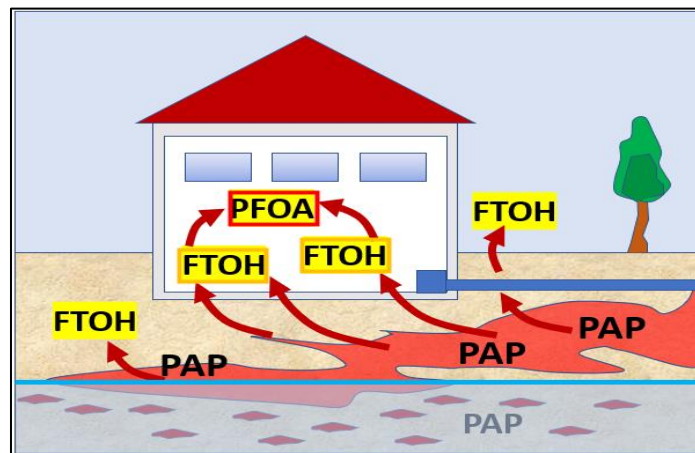
Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Mesures et évaluations des risques des expositions par des PFAS volatils dans l'air ambiant intérieur (FTOH : Fluortéломère alcools, etc.). Avancement concernant les travaux relatifs aux Crèches et Ecoles en Alpes Maritimes / Choix et application des VTR, Budgets Espace-Temps, Taux de respiration, etc. des PFAS volatils & COHV, etc.) dans le cadre des EQRS

Measurements and Health Risk assessments of volatile PFAS in indoor Ambient Air (FTOH: Fluortelomer alcohols, etc.). Progress concerning work relating to Nurseries and Schools in Alpes Maritimes / France: Choice and application of TRV, Space-Time Budgets, Respiration Rates, etc. for volatile PFAS & COHV, etc.)

(* Toxicological Reference Values)

Dr. (es. Sc.) Frank Karg / Scientific Director of HPC-Group (INOGEN JV) and
CEO-President of HPC INTERNATIONAL / France, Germany, Suisse, Hungary, Balkan, etc.
Email: frank.karg@hpc-international.com / Tél: +33 607 346 916





ouest france
Actualité Nos parutions Régions Communes Sport JO 2024
Alerte aux « polluants éternels » dans des rivières et étangs d'Ille-et-Vilaine
Trois associations - Vitre-Tuval - Agis-les-Étangs

Libération
Accueil / Environnement / Pollution
Industrie
Polluants éternels : 34 communes du Rhône portent plainte pour « mise en danger de la vie »
Un collectif a déposé lundi 30 octobre une plainte collective pour des « concentrations alarmantes » de PFAS. Les entreprises Daikin sont mis en cause.

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

ouest france
Accueil Communes Sport JO 2024
PFAS
Que sont les PFAS, ces polluants retrouvés dans les rivières du Finistère ?
Alors qu'à Plabennec (Finistère)...

franceinfo
vidéos radio jt émissions
politique vrai ou faux société faits-divers santé éco/conso monde culture sport environnement météo l'actu pour les jeunes une info transparente
3 auvergne rhône-alpes changer de localité
15/01/2024
Accueil > Auvergne-Rhône-Alpes > Rhône > Lyon
"PFAS" dans l'eau potable : 166 000 habitants concernés dans la région, l'ARS passe en "phase active"

Midi Libre
Accueil > Santé
06/02/2024
Un "record du monde" de rejets de polluants éternels mesuré à Salindres : Générations futures accuse les autorités locales d'inaction

LCP
ASSEMBLÉE NATIONALE ACTUALITÉS DOSSIERS REPLAYS PODCASTS GUIDE PROGRAMME LA CHAÎNE ESPACE PRESSE
06/02/2024
POLLUANTS ÉTERNELS : UN RAPPORT ALERTE SUR LA NÉCESSITÉ D'INTERDIRE "URGEMMENT" LES REJETS INDUSTRIELS CONTENANT DES PFAS

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

LCP
ASSEMBLÉE NATIONALE
pourquoi docteur
Comprendre pour agir
07/02/2024
PFAS : contamination record de l'eau de deux villes proches d'une usine
Générations Futures révèle une pollution inquiétante aux PFAS à Salindres dans le Gard. Elle pourrait être à l'origine de la pollution au monde de TFA.

ici
France Bleu Occitanie, France Bleu, France Bleu Hérault
En octobre dernier, l'ARS se retrouvait dans la tourmente autour de la pollution supposée de la qualité de l'eau du robinet dans la Région. En guise de réponse, quatre mois après, elle annonce plus de 320 tests et de prélèvements autour des PFAS, les très controversés polluants éternels.

PFAS
SUD OUEST
ACTUALITÉ DÉCLIC LA SÉLECTION FAITS DIVERS SPORT
Contamination aux PFAS : le problème de santé publique qui enfle, qui enfle
Réservé aux abonnés

Centre Presse
Aveyron
Accueil > Santé
L'eau du robinet impropre à la consommation en France : ce mail interne de l'ARS qui jette le trouble

ars
Occitanie
Politique régionale de santé
Accueil > Contrôle sanitaire de l'eau de l'ARS
Contrôle

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

franceinfo
vidéos radio
politique vrai ou faux société faits-divers santé éco/conso monde culture sport
PFAS : des "polluants éternels" rejets des personnes testées, selon une
Les cheveux de 152 personnes ont été analysés dans une campagne menée par le député écologiste Nicolas Thiery et comme Nagui ou Mélanie Laurent y ont participé.
21/03/2024

PFAS : Surveillance des eaux en Auvergne Rhône-Alpes
Le 27 janvier 2024
Les PFAS dans l'environnement
Générations Futures accueille avec plaisir la surveillance des PFAS dans les eaux potables. Une demande des compléments.

LE PROGRES
Actualité Départements Sport Long format Sorties et loisirs Magazine Services
Pollution aux perfluorés
Au sommaire du dossier
04/03/2024
Pollution aux PFAS : la consommation des fruits et légumes à Oullins-Pierre Bénite déconseillée par la préfecture
Les fruits et légumes provenant des potagers aux alentours de l'usine Arkema pourraient contenir des taux importants de produits chimiques cancérigènes pour l'homme.

ouest france

Actualité Nos parutions Régions Communes Sport JO 2024

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

Trois associations - Vitre-Tuval - Agis te

franceinfo: vidéos radio jt

politique vrai ou faux société faits-divers santé éco/conso monde culture sport environnement

3 auvergne rhône-alpes changer de localité

Accueil > Auvergne-Rhône-Alpes > Rhône > Lyon

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

ici FRANCE BLEU ET FRANCE 3

Podcasts

ACTUALITÉ DÉCLIC

Contamination

actuLyon

19/03/2024

Enquête. Fiéau des cancers chez

Actu > Auvergne-Rhône-Alpes > Rhône > Pierre-Bénite

Polluants éternels : la Métropole porte plainte contre deux entreprises

La Métropole écologiste de Lyon a annoncé, ce mardi 19 mars, la

d'une plainte contre les sociétés Arkema et Daikin, soupçonnées de

Libération

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)

LCP ASSEMBLÉE NATIONALE ACTUALITÉS DOSSIERS REPLAYS PODCASTS GUIDE PROGRAMME LA CHAÎNE ESPACE PRESSE

06/02/2024

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

NICOLAS THIERRY député de Gironde STOP PFAS

CONFÉRENCE DE PRESSE : LES PFAS, UN POISON

LCP ASSEMBLÉE NATIONALE

pourquoi docteur Comprendre pour agir

07/02/2024

QUESTION D'ACTU Santé et environnement

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

Génération Futures révèle une pollution inquiétante aux PFAS à Salindres dans le Gard. Elle pourrait être à l'origine de l'augmentation au monde de TFA.

Contrôle

LE PROGRES

Actualité Départements Sport Long format Sorties et loisirs Magazine Services

04/03/2024

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

Les fruits et légumes provenant des potagers aux alentours de l'usine Arkema pourraient contenir des taux importants de polluants chimiques cancérigènes pour l'homme.

France

Liberté Égalité Fraternité

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

PFAS volatils dans l'air ?

FRANCE NATION VERTE

Agir · Mobiliser · Accélérer

Les PFAS en Auvergne R

ouest france

ons Communes Sport JO 2024

PFAS

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

Alors qu'à Plabennec (Finistère)

LCP ASSEMBLÉE NATIONALE ACTUALITÉS DOSSIERS REPLAYS PODCASTS GUIDE PROGRAMME LA CHAÎNE ESPACE PRESSE

06/02/2024

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

NICOLAS THIERRY député de Gironde STOP PFAS

CONFÉRENCE DE PRESSE : LES PFAS, UN POISON

LCP ASSEMBLÉE NATIONALE

pourquoi docteur Comprendre pour agir

07/02/2024

QUESTION D'ACTU Santé et environnement

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

Génération Futures révèle une pollution inquiétante aux PFAS à Salindres dans le Gard. Elle pourrait être à l'origine de l'augmentation au monde de TFA.

Contrôle

LE PROGRES

Actualité Départements Sport Long format Sorties et loisirs Magazine Services

04/03/2024

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

Les fruits et légumes provenant des potagers aux alentours de l'usine Arkema pourraient contenir des taux importants de polluants chimiques cancérigènes pour l'homme.

France

Liberté Égalité Fraternité

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

PFAS volatils dans l'air ?

FRANCE NATION VERTE

Agir · Mobiliser · Accélérer

Les PFAS en Auvergne R

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



**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

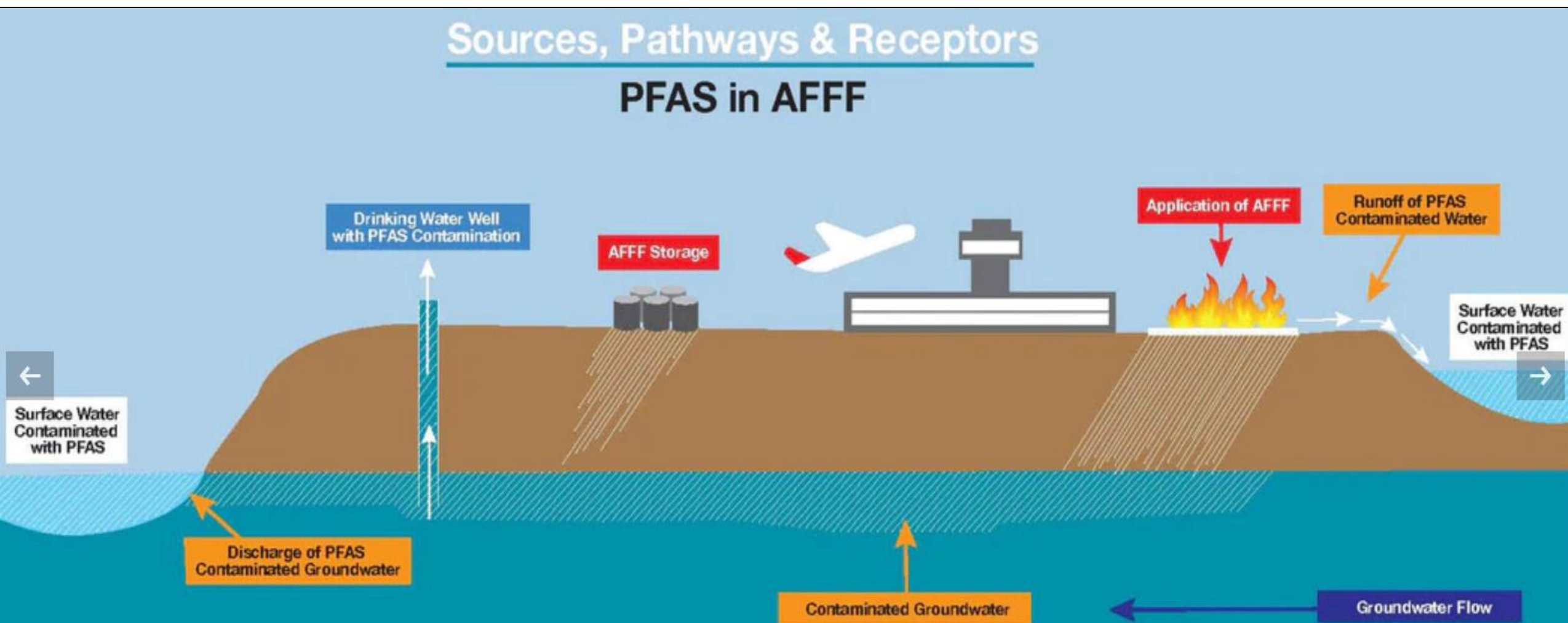
- Galvanisation
- Production des Textiles
- Food Packaging (Polymers)
- Production des Papiers & Cartons
- Raffineries, Industrie Photographique & incres
- Matériel de Construction (Bétons):
par ex. C₈-C₂₀-gamma-omega-perfluoro Thiols)
- Peintures, Encres & Laces
- Modules électroniques & semi-conducteurs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



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

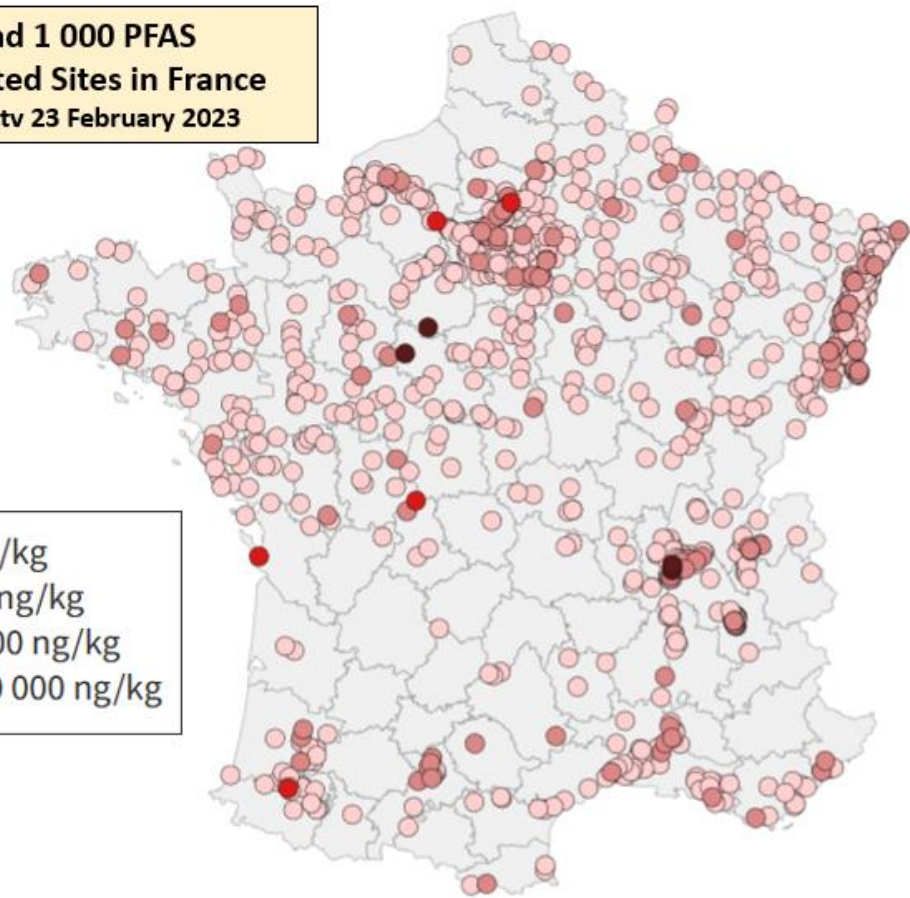
Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

PFAS : la situation au début 2023

Env. 1 000 Sites en France

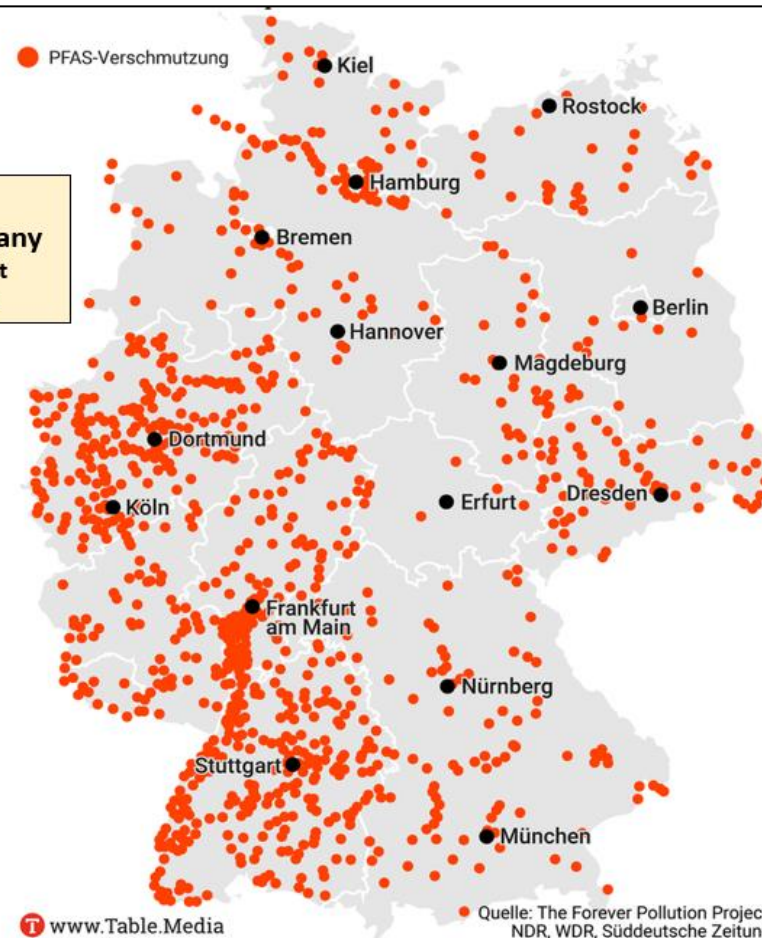
Env. 1 500 Sites en Allemagne

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



www.Table.Media

Quelle: The Forever Pollution Project,
NDR, WDR, Süddeutsche Zeitung



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

En total 25 sur 105 écoles et crèches sont à considérer prioritaires. Dans 5 écoles et crèches des investigations PFAS seront réalisées fin 2024, donc les PFAS volatils dans l'air ambiant: 6:2- & 8:2-FTOH Fluortélomère alcools.

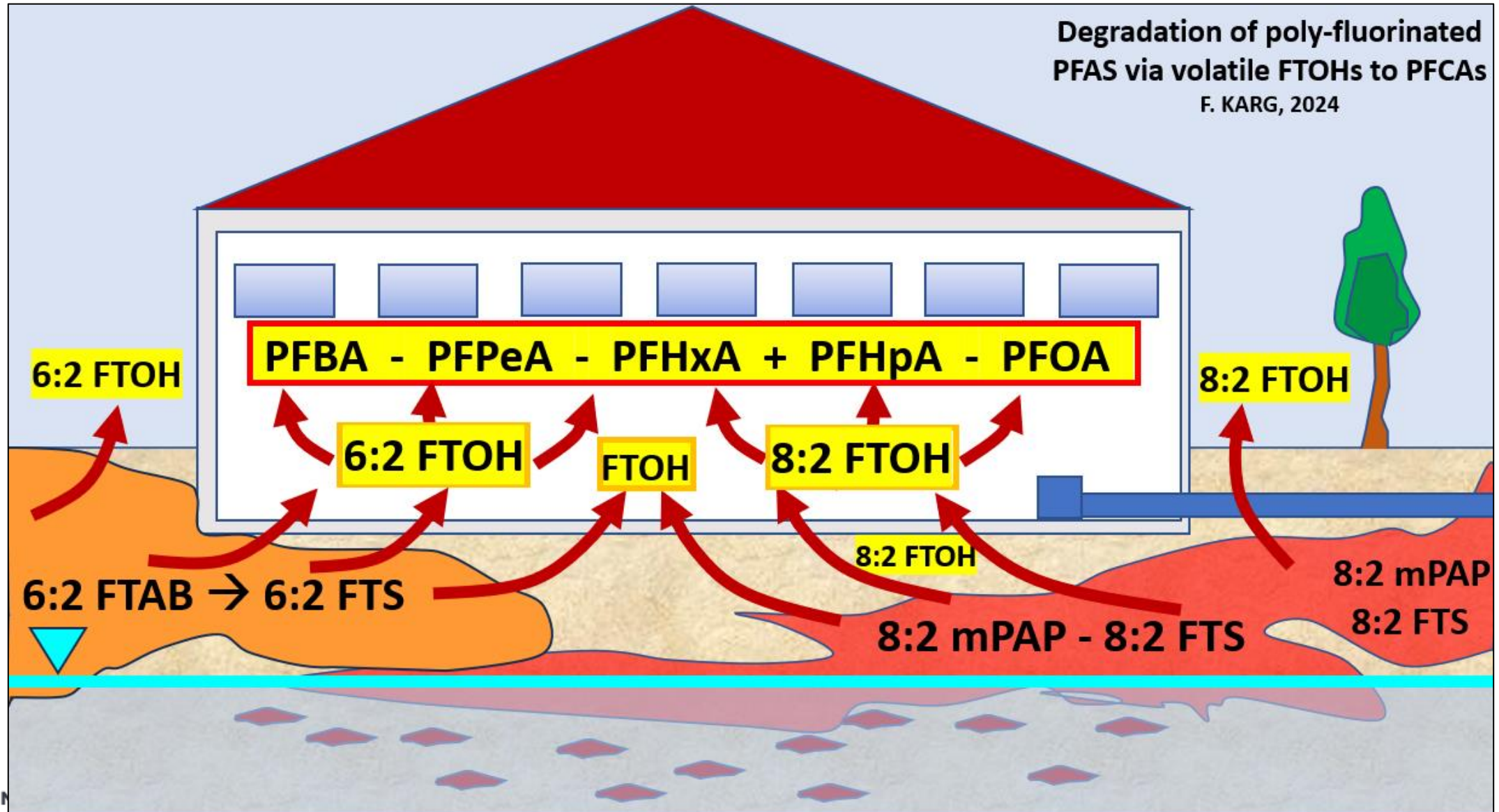
- Frank KARG / SFSE – HPC INTERNATIONAL (rédaction)
- Jean-François HEILIER / SFSE – SPAQuE (rédaction)
- Florence PRADIER / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Ombeline TRIAU / SFSE – Ville de Lyon – Service Santé-Environnement (rédaction)
- Christophe ROUSSELLE / SFSE –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

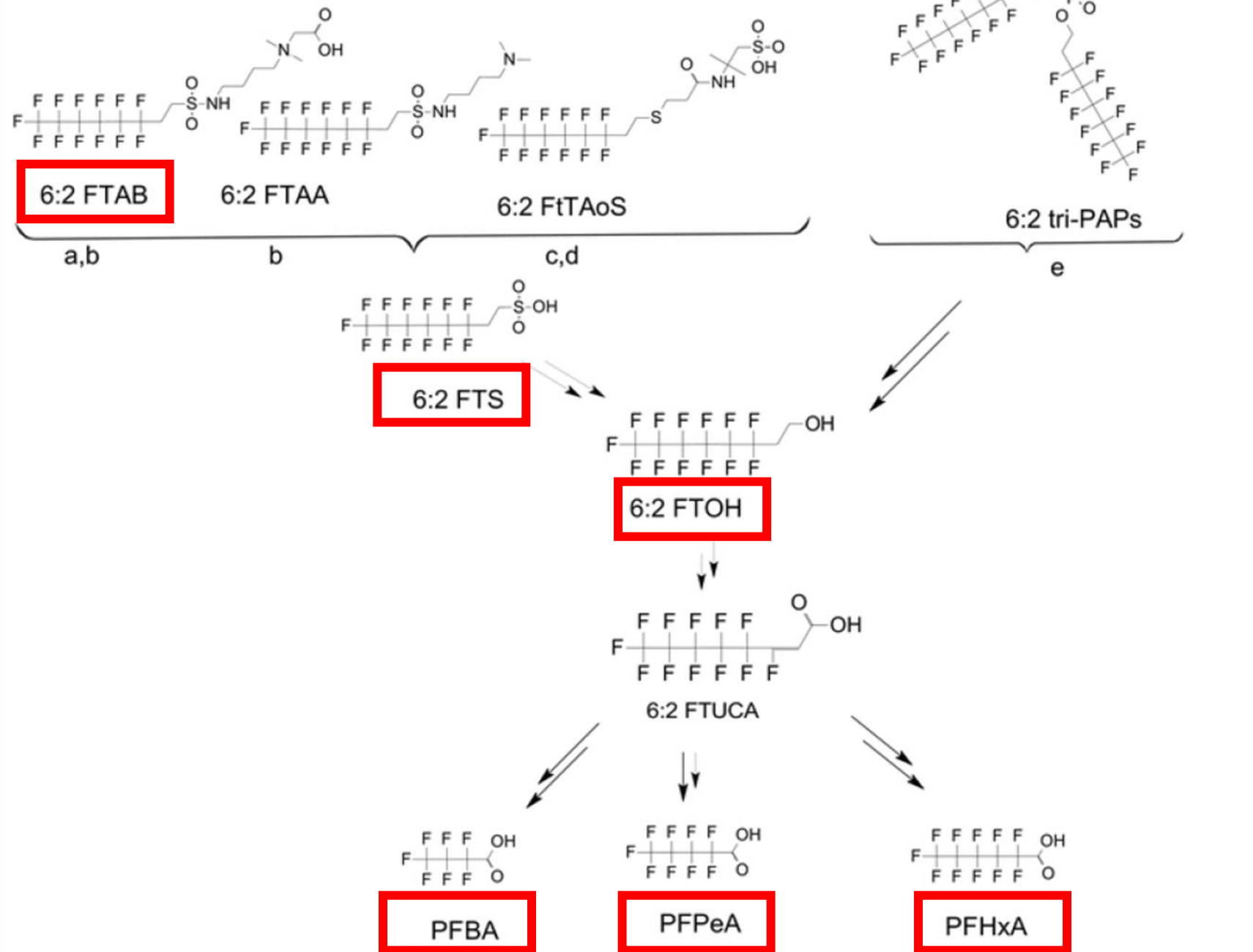
PFAS (PFC, PFT):

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



Chimie environnementale : Bio- & Photo-transformation des PFAS poly-fluorés vers les PFAS per-fluorés

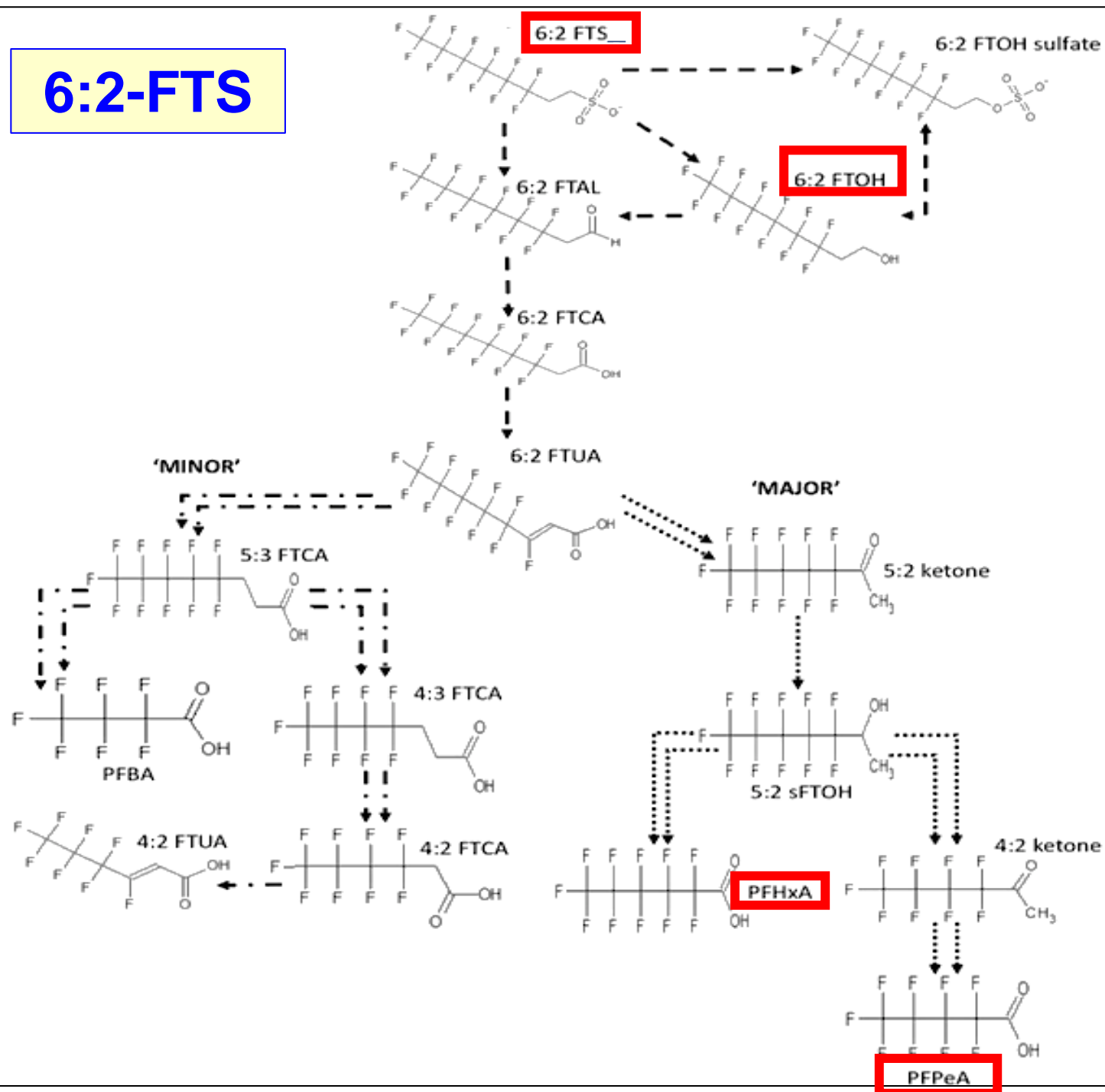




**6 :2 FTAB et sa
dégradation
via le 6 :2 FTS et le
6 :2 FTOH vers les
PFAS per-fluorés
PFBA, PFPeA et
PFHxA**

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

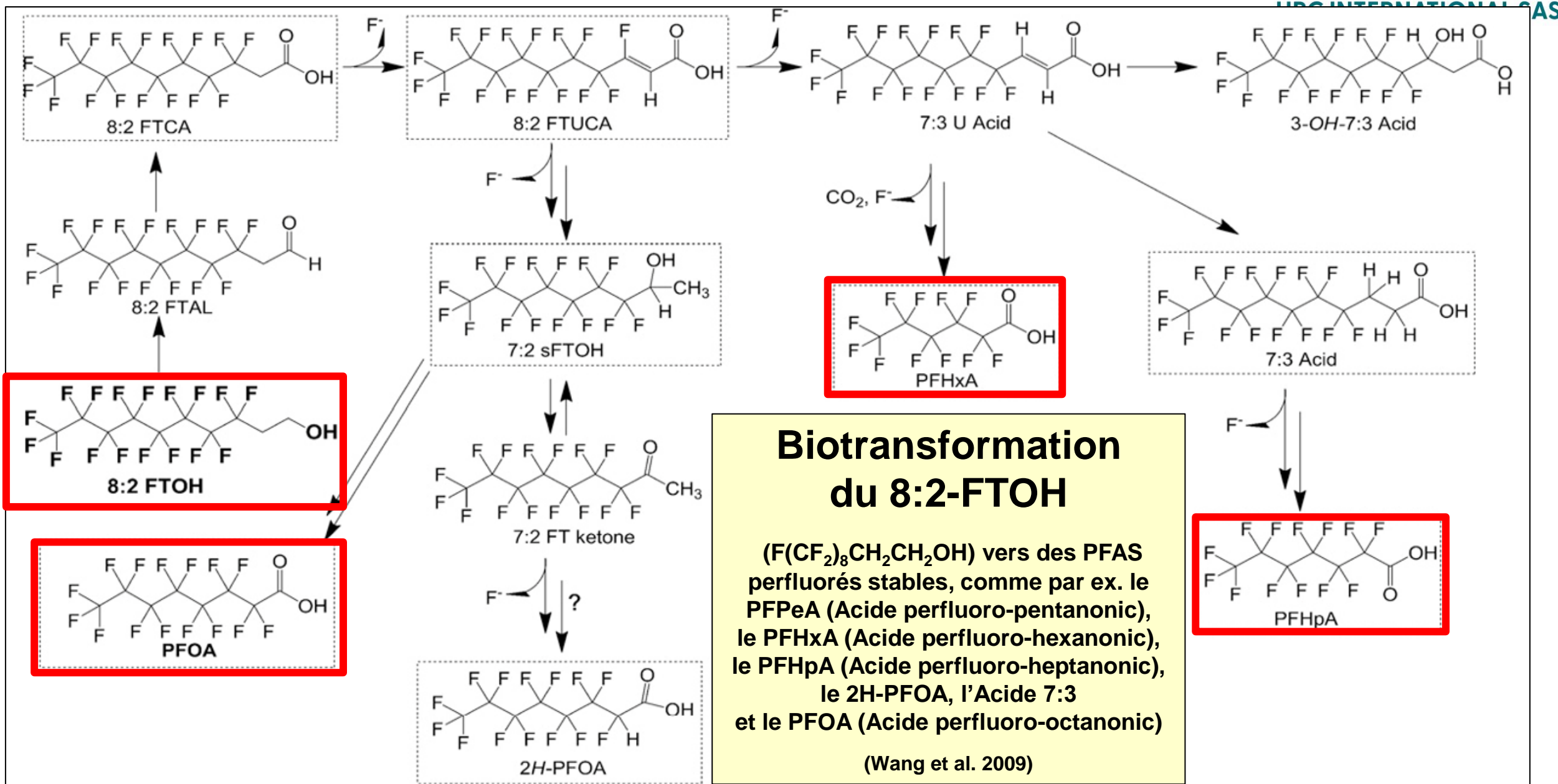
6:2-FTS

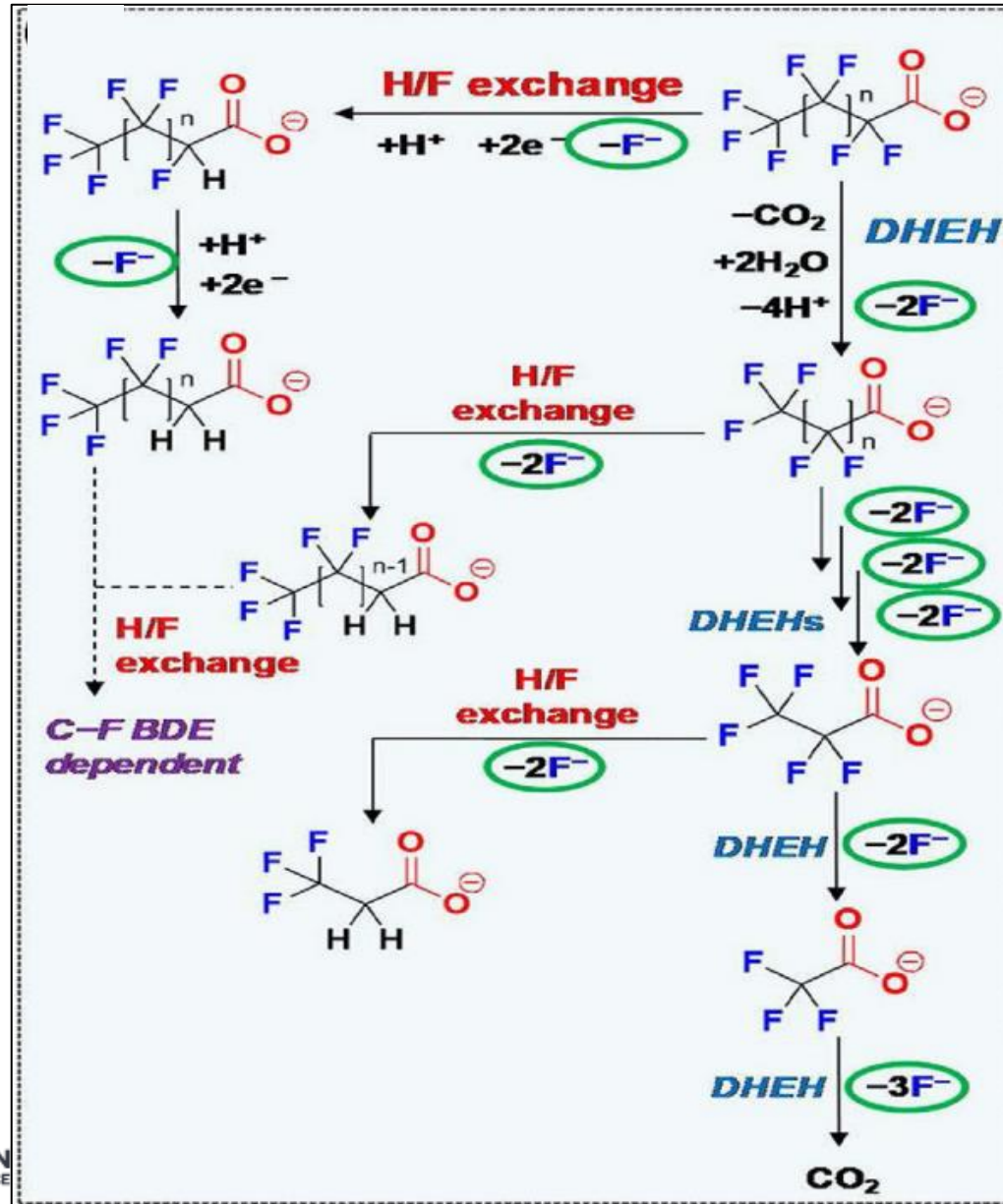


Biotransformation du 6:2-FTS

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)





PFAS: Chimie environnementale

Defluorination photochimique de PFBA au TFA

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

Ultrashort PFAS:

- TFA: Trifluoro acetic acid: CAS: 76-05-1
- TFMS: Trifluoro methane sulfonic acid: CAS: 1493-13-6
- PFES: Penta(per)fluoro ethane sulfonic acid: 354-88-1
- PFPrA: Perfluoro propanonic acid: CAS: 422-64-0
- PFPrS: Perfluoro propane sulfonic acid: CAS: 423-41-6

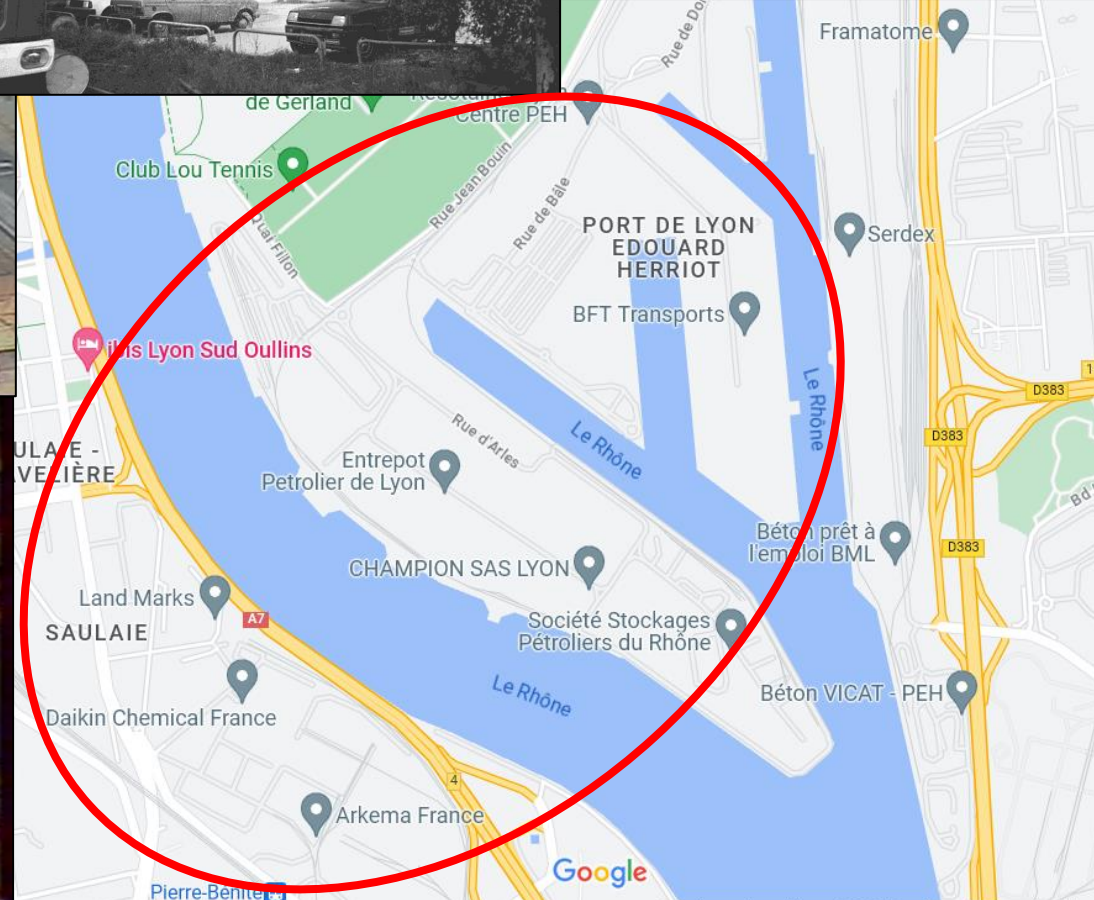


Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

Incendie: Port Edouard-Herriot : 1987



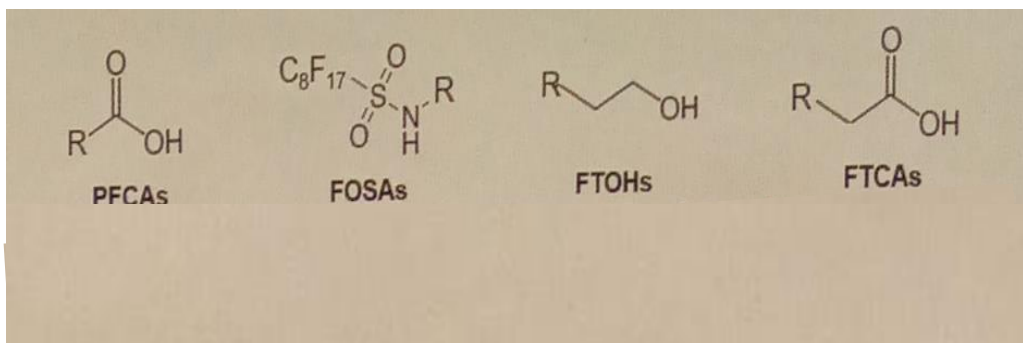
Nécessité de vérifier la
qualité des eaux
souterraines, le Rhône
(ESO & sédiments) et
les gaz du sol.



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).



PFAS (PFC, PFT):

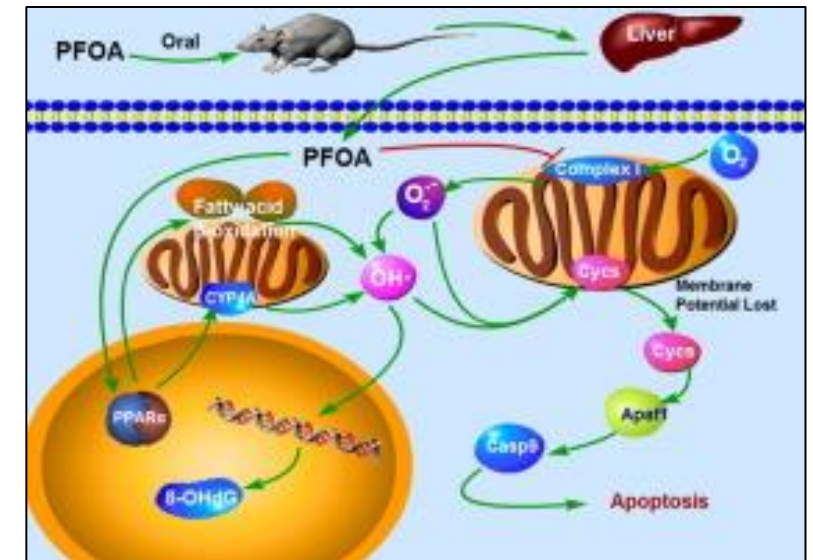
1. PFAS ? : Description des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie
5. Contexte réglementaire & Valeurs limites
6. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
7. Traitements, Dépollution & Décontamination



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...),
- **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 :

Pregnant women, unborn fetus, and infants are most susceptible to adverse health effects once exposed to PFAS.

Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS), two common forms of long-chain PFAS, have been associated with the following



Low Birth Weight



Delayed Puberty



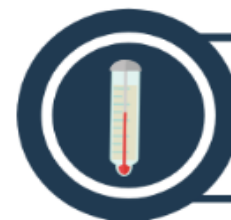
Preterm Birth



Attention deficit/
hyperactivity
disorder (ADHD)



Pregnancy-induced
hypertension/ Pre-
eclampsia



Immune
Response
Suppression



UNIVERSITY OF MICHIGAN

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



Réglementation : Surveillance et concentrations & expositions limites

- Plusieurs pays en UE (D, NL, S): Lignes directrices sur l'eau potable et des sols ou les réglementations pour les eaux souterraines pour un ou plusieurs composés PFAS.
- Selon l'AM du 07/08/2015 en France 5 PFAS sont à surveiller dans les eaux superficielles.
- La Directive 2013/39/UE du 12/08/2013 cadre sur l'eau européenne (DCE), fixe pour le PFOS & dérivés (et pour d'autres substances prioritaires) une Normes de Qualité Environnementale (NQE-CMA) de 0,65 ng/l pour les Eaux superficielles et 0,13 ng/l pour les Eaux du milieu marin (et des NQE-CMA: Concentrations Maximales Admissibles)
- La Directive 2020/2184/UE du 16/12/2020 sur l'Eau potable, transposé en France par un AM du 30/12/2022 renforce la surveillance des eaux en intégrant 10 PFAS + des valeurs limites en 2026 (20 PFAS dans les eaux souterraines et + 4 PFAS dans les eaux superficielles). Eau potable : 20 PFAS < 0,1 µg/l par PFAS et 0,5 µg/l en total à partir de 2026
- Eau potable US-EPA (10/04/24): MCLS (Maximum Contaminant Levels): PFOA & PFOS: 4 ng/l, PFHxS, PFNA & HFPO-DA (Gen-X): 10 ng/l.
- Selon l'AM du 26/04/2022 prévoit le suivi de 5 PFAS dans les eaux de surface (à des LQ de 2 ng/l). Un étude de 12/01/2023 montre 36 % des eaux superficielles en France sont contaminées par 1-18 PFAS (13 000 échantillons en 2020).
- Valeurs limites dans les aliments: Règlement (UE) 2022/2388 applicable à partir du 01/01/2023.
- VTR: Une Dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 4,4 ng/kg/Sem. (ou Dose Journalier Tolérable de: DJT) : EFSA 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>
- En Allemagne: Valeurs limites pour les eaux souterraines et de l'eau potable. Les Länder exigent des investigations & dépollutions systématiques de sites pollués et des ESO (jusqu'à 0,06 µg/l en PFNA).



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 :

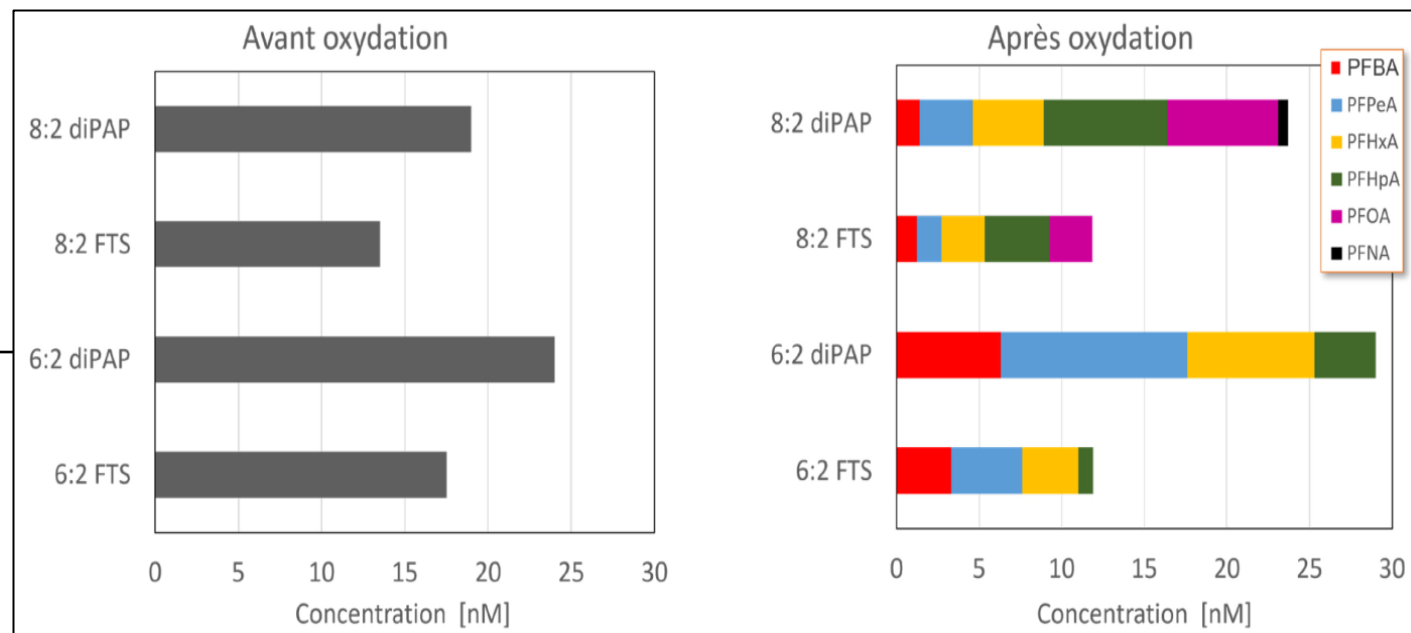
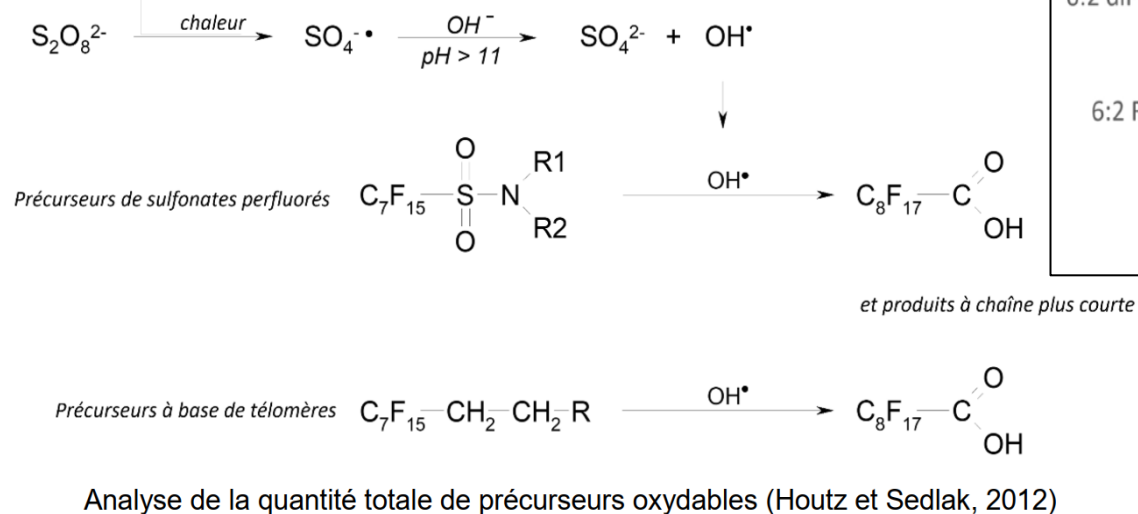
- A éviter, que certains **outils d'échantillonnage** et équipements de laboratoire puissent ajouter des PFAS à des échantillons, notamment via le poly-tétrafluoro-éthylène (PTFE),
- Il faut tenir compte de la **biotransformation** potentielle des PFAS dans l'environnement **pour en créer** davantage 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.)



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

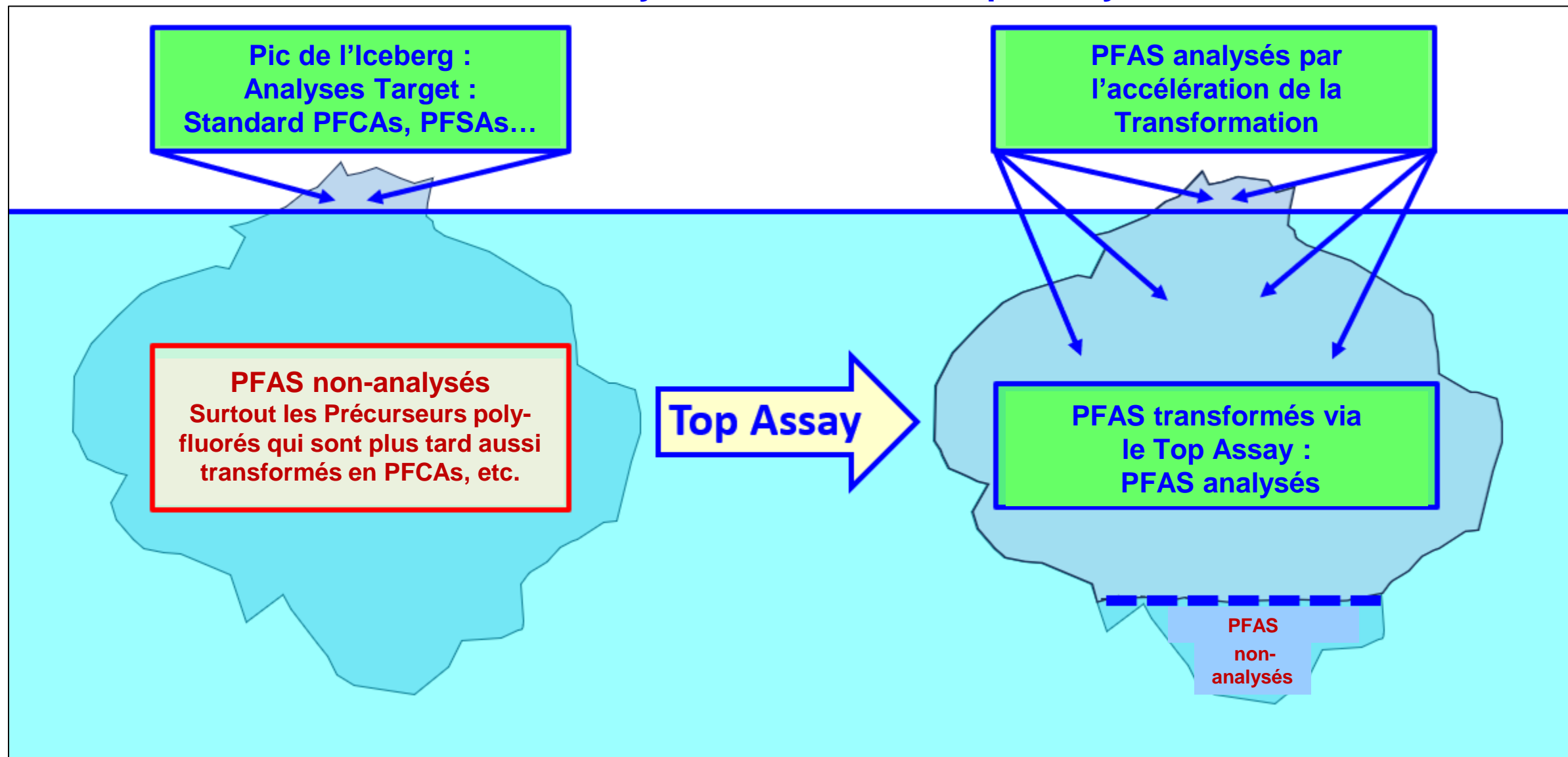
TOP-Assay: Total Oxidizable Precursor

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



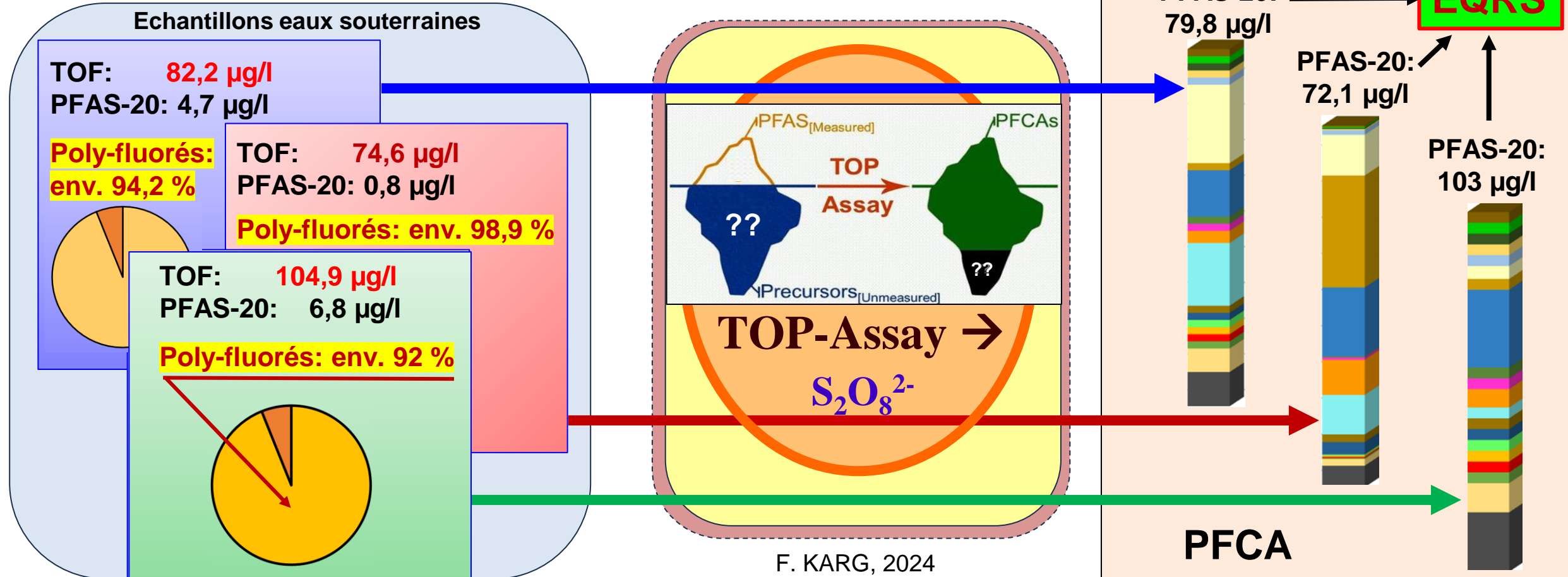
Quantification des PFAS poly-fluorés inconnus et leurs Acides carboxyliques perfluorés finaux correspondants à prendre en compte dans une EQRS.

PFAS: Analyses avec et sans Top Assay



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

Prise en compte des PFAS poly-fluorés via Top Assay:

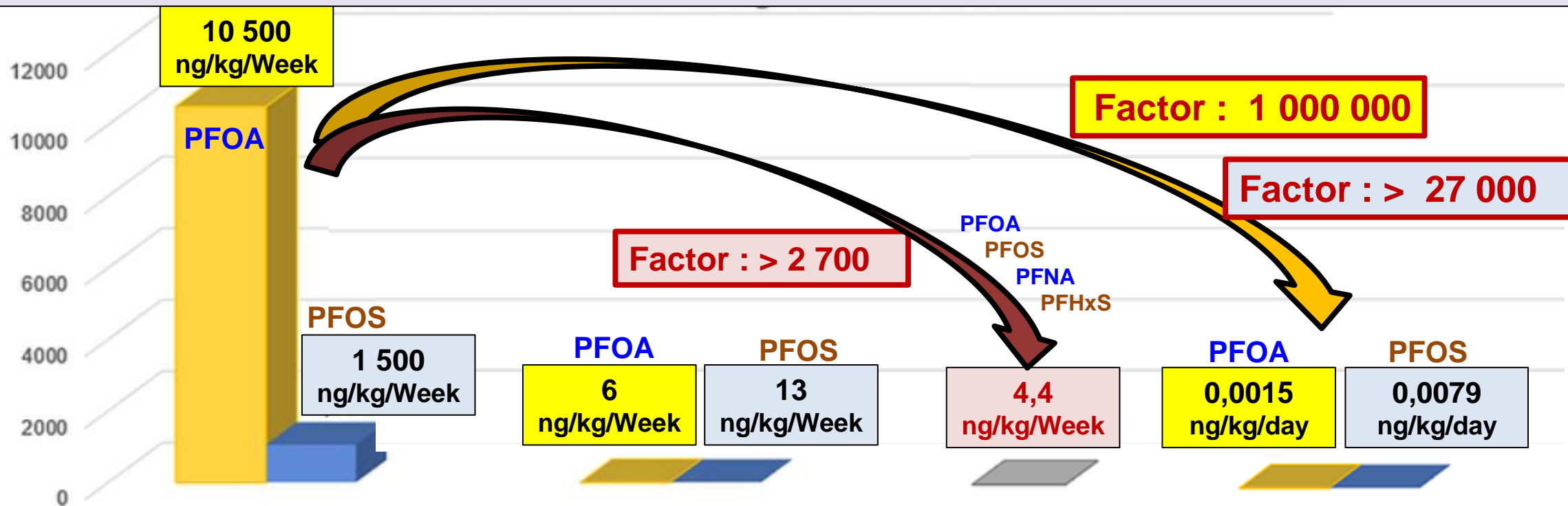


■ Perfluorbutansäure (PFBA)	■ Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	■ Perfluordecansäure (PFDA)	■ Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	■ Perfluordodecansäure (PFDoA)
■ Perfluordodecansulfonsäure (PFDoS)	■ Perfluorheptansäure (PFHpA)	■ Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	■ Perfluorhexansäure (PFHxA)	■ Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)
■ Perfluorononansäure (PFNA)	■ Perfluorononansulfonsäure (PFNS)	■ Perfluoroctansäure (PFOA)	■ Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	■ Perfluorpentansäure (PFPeA)
■ Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	■ Perfluortridecansäure (PFTDA)	■ Perfluortridecansulfonsäure (PFTrDS)	■ Perfluorundecansäure (PFUnA)	■ Perfluorundecansulfonsäure (PFUnS)

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

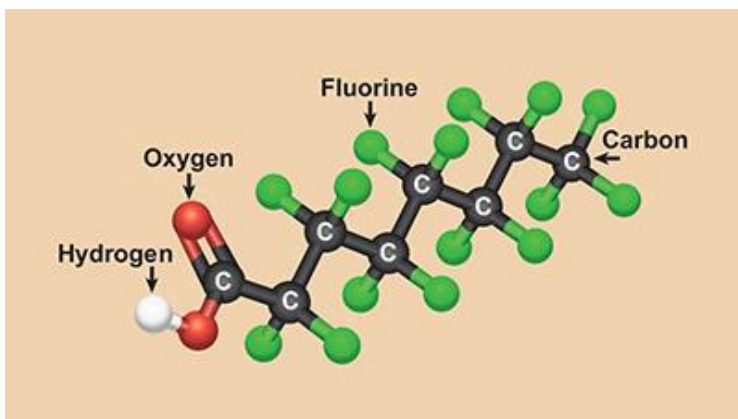
VTR: EFSA & US-EPA : PFOA & PFOS : Consideration of Higher Toxicity

TWI & TDI: Tolerable Weekly & Daily Intake: 2008 – 2020 & 2022



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

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



**Attention: Les RPFs sont seule-
ment 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

^a 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.

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

VTR internationales (env. 170): 1/2

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

Subst	CAS Nr.	Cancero- genic / not cancero- 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
			inhalation	Hepatic	4,1 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81 * 3 000)	TCEQ 2023
		C	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d) ¹	Epidem- iologic	SF	-	New Jersey 2017
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
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/m³	Rate	RfC	from oral value	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

Exemples →

Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances:

Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

VTR internationales (env. 170): 2/2

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

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				
PFOS	1763-23-1	NC	oral	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
			inhalation	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2023
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
			inhalation		43 ng/kg/d	Rate	RfC	RPF based on PFOA's RfD x 0,02 & Inhalation: 20 m ³ /d	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
			inhalation		1,5 x 10 ³ ng/m ³	Rate	RfC	RfD assimilated to PFOA transformation Product 8:2-FTOH & Inhalation: 20 m ³ /d	SLU 2018 (Sweden) (Ingestion based on EFSA 2018)
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		oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018

Exemples →

Quelques VTR des FTOHs

Compound	Inhalation Systemic	Ingestion Systemic	Con-sidered Effect	Tests	Uncertainty (Security) Factor	Reference
6:2 FTOH: Fluorotelomer alcohol	Transposition from RfD to RfC for ex. by 20 m3/d Inhalation	RfD (based on PFOA TDI: 6 ng/kg/week: 0,86 ng/kg/d / RPF 0,02): 43 ng/kg/d	Hepato-toxic	Rat	Relative Potency Factor: RPF = 0,02	Bil et al. 2020: (RfD based on PFOA TDI: UBA 2020, EFSA 2018 & BfR 2018)
8 : 2 FTOH: Fluorotelomer alcohol	Transposition from RfD to RfC for ex. by 20 m3/d Inhalation	RfD (based on PFOA TDI: 6 ng/kg/week: 0,86 ng/kg/d / RPF 0,04): 21,5 ng/kg/d	Hepato-toxic	Rat	Relative Potency Factor: RPF = 0,04	Bil et al. 2020: (RfD based on PFOA TDI: UBA 2020, EFSA 2018 & BfR 2018)
8 : 2 FTOH: Fluorotelomer Alcohol	RfC : 1,5 x 10⁶ pg/kg/d	RfD assimilated to PFOA as biotransformation end-product: 1,5 µg/kg/d	Hepato-toxic	Rat		SLU 2017 (Ingestion based on EFSA 2018)

Le 6:2 FTOH est considéré plus toxique que le PFHxA (P.A. Rice et al. 2020)

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

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	

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 :**

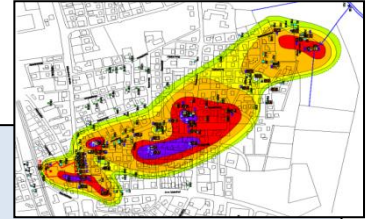
- **Risques sanitaires acceptables** provoqués par des substances avec des effets toxiques à seuil de dose :

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 cancérigène) :

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

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 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 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 +

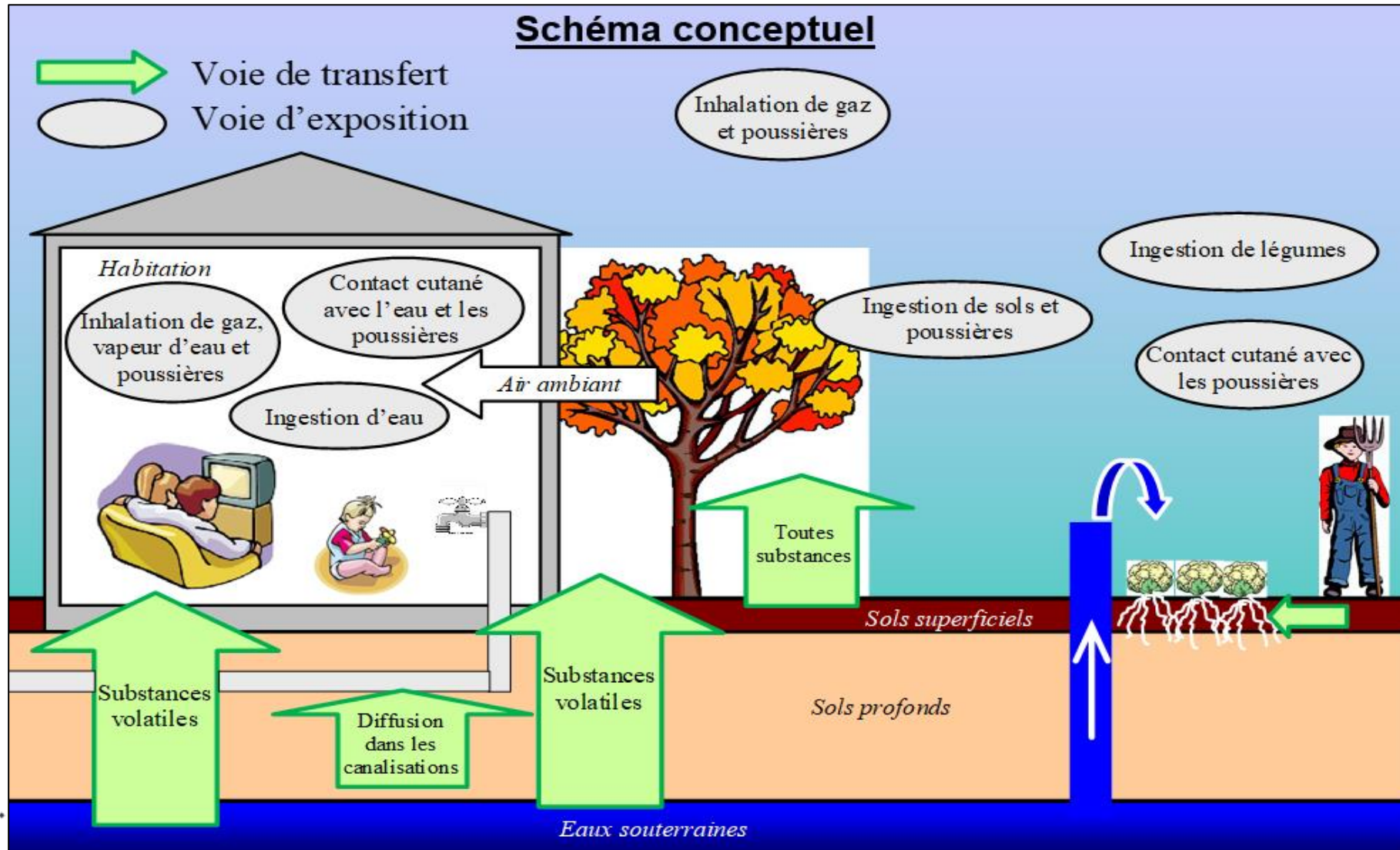
Excès de Risque Individuel : ERI

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

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

- **WHO:** 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),
- **Austria:** 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: $ICR = 10^{-5}$,**
- **Germany:** Bundesanzeiger BA 161a from August 28/1999 : Toxicological Screening Level (PW) for **Acceptable Cancer-Risk: $ICR = 10^{-5}$, Proved intervention level: $ICR = 5 \bullet 10^{-5}$**
- **Italy:** Decreto 52/2006 from 2006: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$,**
- **Netherlands:** RIVM (2001): Document 711701 025 Re-Evaluation of Human-Toxicological Maximum Permissible Risk levels: **Acceptable Cancer Risk: $ICR = 10^{-5}$,**
- **Switzerland:** 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.
- **Australia, Hong-Kong, Denmark, Japan, New Zealand, Norway, Sweden: $ICR = 10^{-5}$** is used.

Définition des Scenarios et voies d'exposition

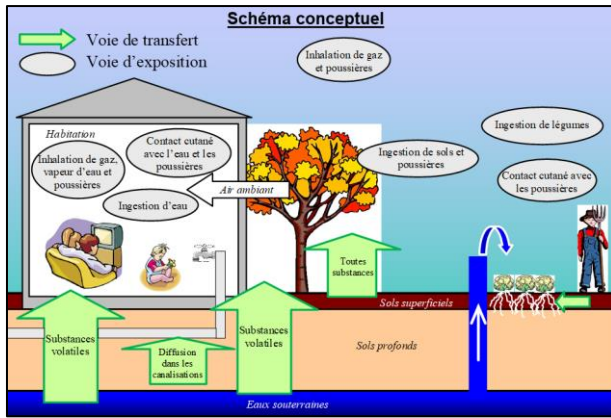


Exemple d'un schéma conceptuel:

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 produc- tion des aliments	Résidentiel avec jardins individuels
Inhalation	Respiration des Vapeurs ou gaz : Gaz du sol → Air Ambiant (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 : 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]

Inhalation : Exemples des taux de respirations (ALMBL 2000 ou CIBLEX):

	1	2	3	4	5	6	7
Age (ans)	< 1	1-3	4-6	7-9	10-14	15-19	20-75
Repos (m ³ /d)	1,9	3,8	7,6	11	15	17	17
Activité faible ----- (m ³ /d)	3,8	7,6	15	23	30	34	34
Activité Moyenne (m ³ /d)	7,6	15	30	46	61	68	68
Activité Intense (m ³ /d)	13	27	53	80	106	120	120

Quantification des DJE : Doses journalières d'Exposition : Inhalation

Quelques corrections des VTR possibles selon les extrêmes des taux de respiration ainsi que les variations des risques associées:

Exemple de polluant volatil	VTR de base pour 20 m³/j respiration	Organisme de définition	VTR pour 1,9 m³/j respiration	VTR pour 120 m³/j respiration	Facteurs de variations des risques
Aniline	UR : (1,6 µg/m³) ⁻¹	USEPA (2018)	16,6 µg/m³	0,26 µg/m³	0,095 – 6,02
Benzène	DJT : 22 µg/m³	ANSES (2013)	231 µg/m³	3,6 µg/m³	
Chlorure de vinyle	DJT: 3,8 µg/m³	ANSES (2012)	39,9 µg/m³	0,63 µg/m³	
8 :2-FTOH (PFAS)	RfC : 1,5 µg/m³	SLU (2017)	17,7 µg/m³	3,3 µg/m³	
Pyridine	TDI : 120 µg/m³	SLU (2017)	1 262 µg/m³	19,9 µg/m³	
Trichloroéthylène (TCE)	ERU : (1 µg/m³) ⁻¹	ANSES (2018)	39,9 µg/m³	0,634 µg/m³	


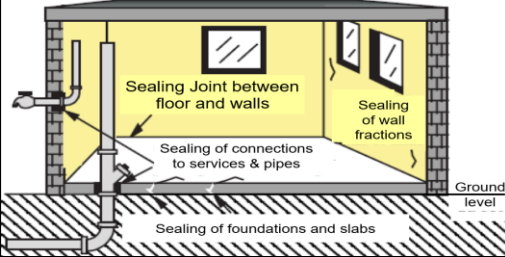
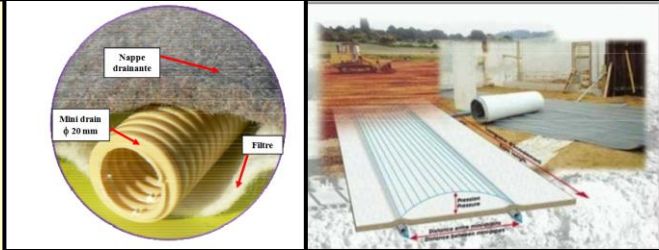

L'adaptation des VTR aux taux réels d'inhalation peut avoir un effet de variation des risques de diminution à 10 % (-90%) ou de majoration jusqu'à un facteur 6 (+ 500%) !

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



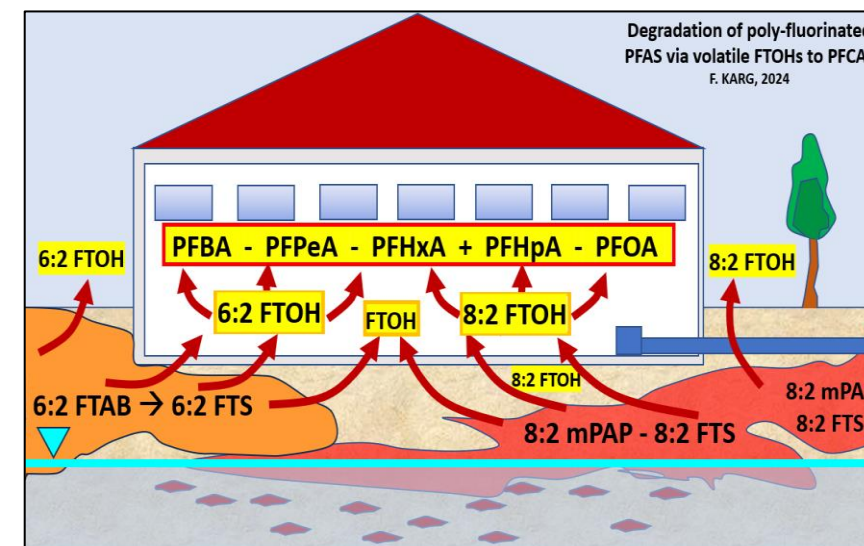
PFAS: Soil gas (vapor) and Ambient Air

Matrix	Technology	Advantage	Inconvenient	Remarks
25. Soil gas	In-situ: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Soil Vapor Extraction (SVE): HPC International 	Efficient for volatile PFAS as 6:2-FTOH, 8:2-FTOH, TFA, etc.	Needs technical-economic Feasibility Study (Sub soil Permeabilities, etc.)	Standard Remediation Technology.
26. Ambient Air	In-situ: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sub Slab Extraction (under Foundations): HPC International 	Efficient for volatile PFAS as 6:2-FTOH, 8:2-FTOH, TFA, etc.	Needs technical-economic Feasibility Study (Sub soil Permeabilities, etc.)	Standard Remediation Technology.
27. Soil gas & Ambient Air	In-situ: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Gas drainages (under Foundations): HPC International 	Efficient for volatile PFAS as 6:2-FTOH, 8:2-FTOH, TFA, etc.	Needs technical-economic Feasibility Study (Sub soil Permeabilities, etc.)	Standard Remediation Technology.
28. Soil gas & Ambient Air	In-situ: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Building Sealings): HPC International 	Efficient for volatile PFAS as 6:2-FTOH, 8:2-FTOH, TFA, etc.	Needs technical-economic Feasibility Study (Sub soil Permeabilities, etc.)	Standard Remediation Technology.

Conclusion :

Contact: frank.karg@hpc-international.com

- Il existe plus que 9 000 composés PFAS + env. 700 COV & COHV
- Les PFAS sont très solubles mais aussi bio-accumulables
- Les substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS) sont en majorité non-volatile, à l'exception des FTOH : Alcools fluorotélomères et d'autres...
- 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....
- Les eaux souterraines sont immédiatement affectées (y compris l'eau potable). Les gaz du sol et l'air ambiant sont à investiguer.
- Les évaluations quantitatives des risques (EQRS) avec une adaptation des paramètres d'expositions réelles sont nécessaires concernant les PFAS volatils (FTOHs, etc.) !
- Les mesures correctives applicables existent pour les gaz du sol et l'air ambiant : étanchéifications, drainages des gaz, ventilation, Venting (SVE), dépollution des sources des PFAS et COV & COHV.



Merci !

Questions ? Remarques ?

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

