***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

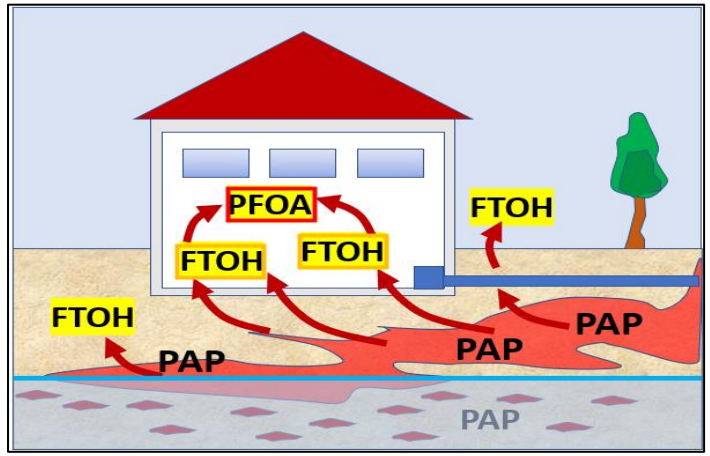
Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

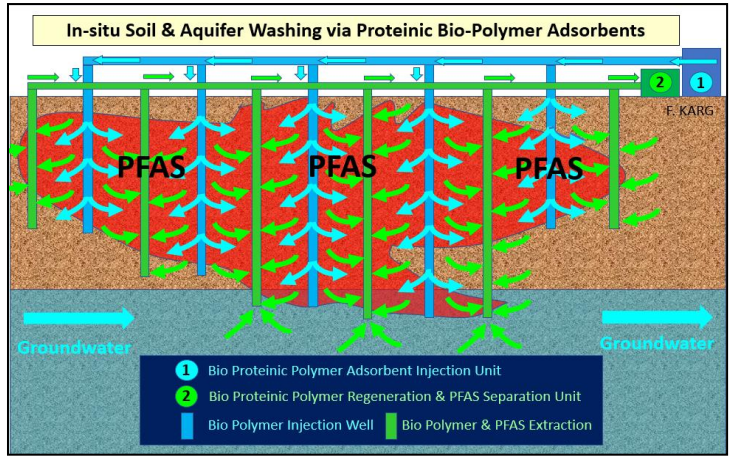
Pollution by volatile PFAS: Health Risks due to vapors and contamination of Ambient Air

27/06/2023

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





INOGEN ALLIANCE

PFAS (PFC, PFT):

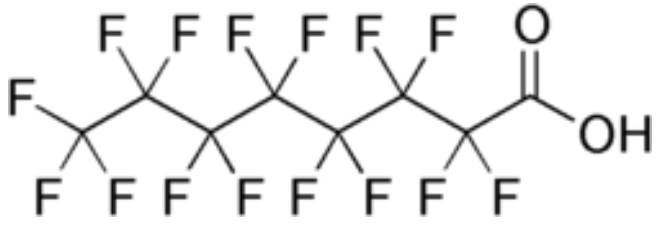
1. PFAS ?: Description court des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie & Valeurs limites
5. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
6. Traitements

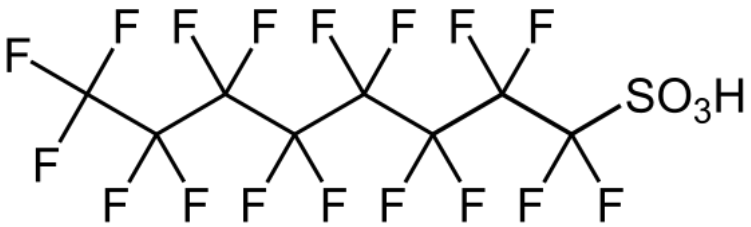
PFAS (PFC, PFT):

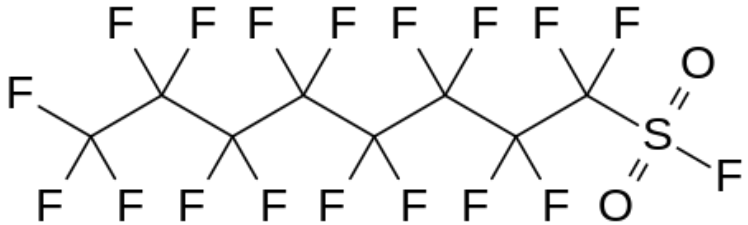
1. PFAS ?: Description court des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie & Valeurs limites
5. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
6. Traitements

PFAS ?

- **Il existent > 9 000 substances Per- & Polyfluor-akyles (PFAS) en produits synthétiques et 33 familles chimiques (y compris les FTOH volatils)**
- **PFAS ont été fabriqués industriellement depuis des années 1940s.**
- **En d'autres, les PFOA et PFOS ont été fortement produits et étudiés. Les 2 substances sont très persistent et toxiques.**
- **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 (PFC, PFT):

1. PFAS ?: Description court des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Contexte réglementaire & Valeurs limites
5. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
6. Identification des Produits commerciaux et sources

Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

HPC INTERNATIONAL SAS

Production & Applications depuis 1960

- Galvanisation
- Production des Textiles
- Food Packaging (Polymers)
- Production des Papiers & Cartons
- Raffinéries, Industrie Photographique & incres
- Matériel de Construction (Bétons): par ex. C_8-C_{20}-gamma-omega-perfluoro Thiols)
- Peintures, Encres & Laces
- Modules électroniques & semi-conducteurs
- Huiles Hydrauliques,
- Production de Teflon (Fluoropolymeres)
- Mousses anti-incendie (AFFF)
- Papiers traités en surface & Cartons….

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

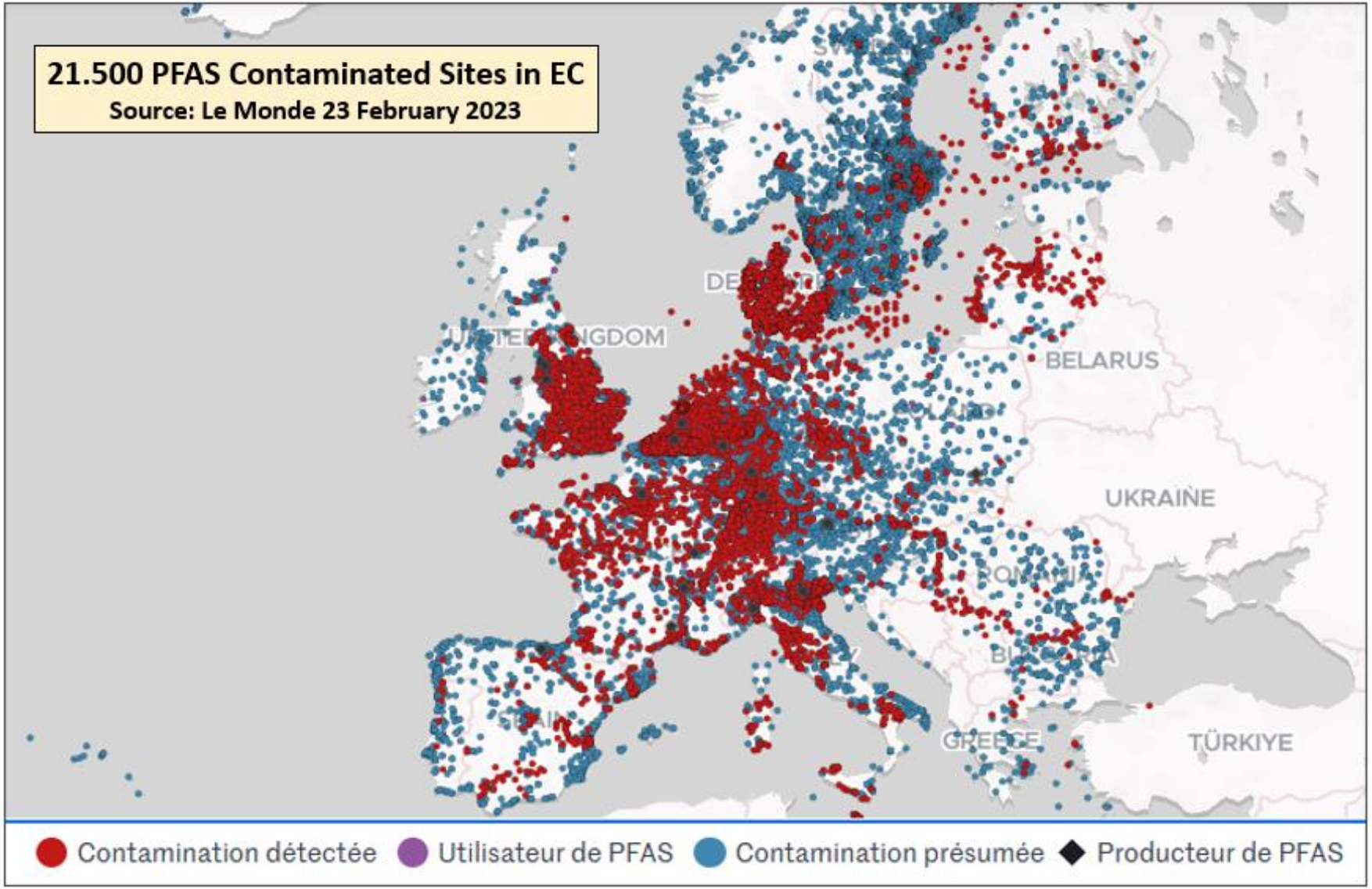
Source:

PFAS: Pollutions des Eaux Souterraines à Düsseldorf
Foto: Landeshauptstadt Düsseldorf

Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

HPC INTERNATIONAL SAS

PFAS: la situation au début 2023

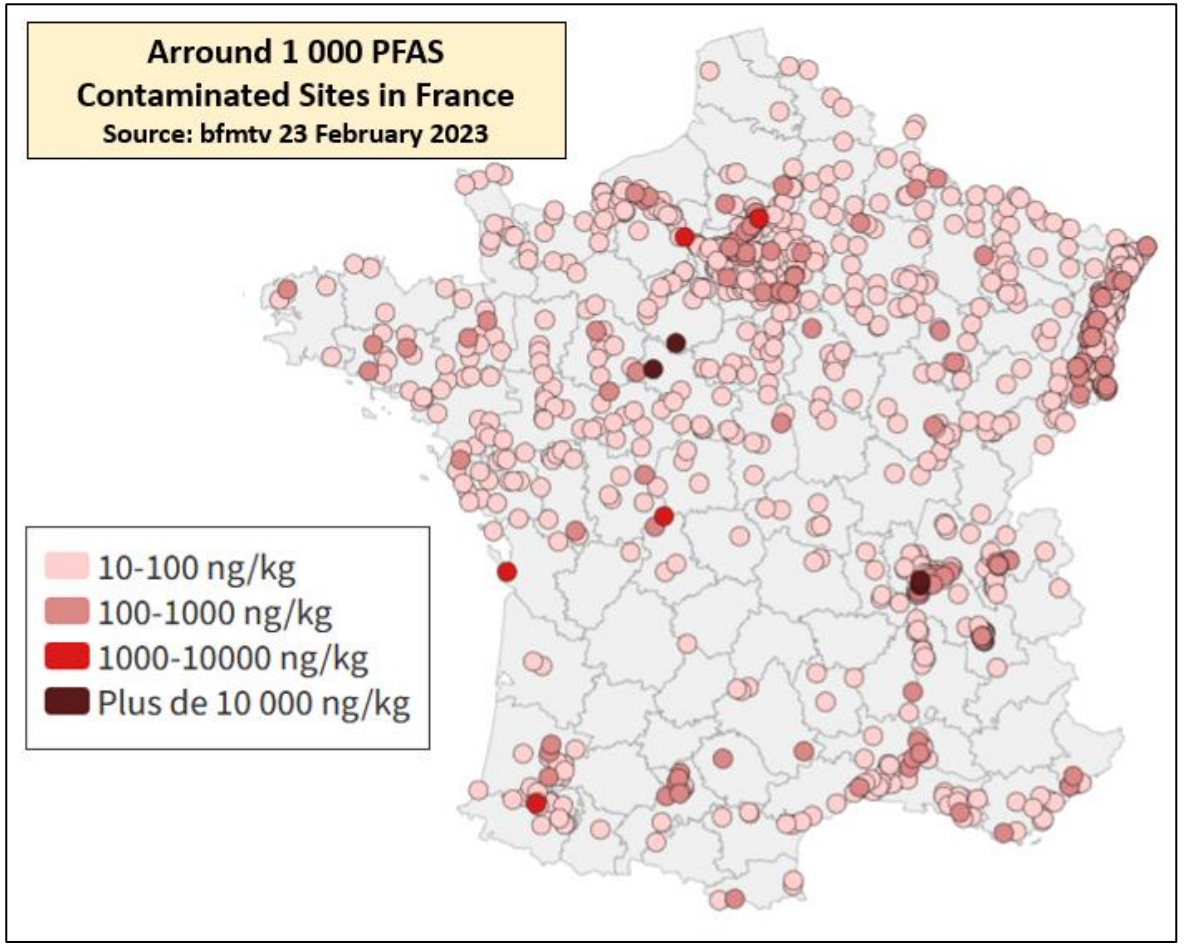


Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

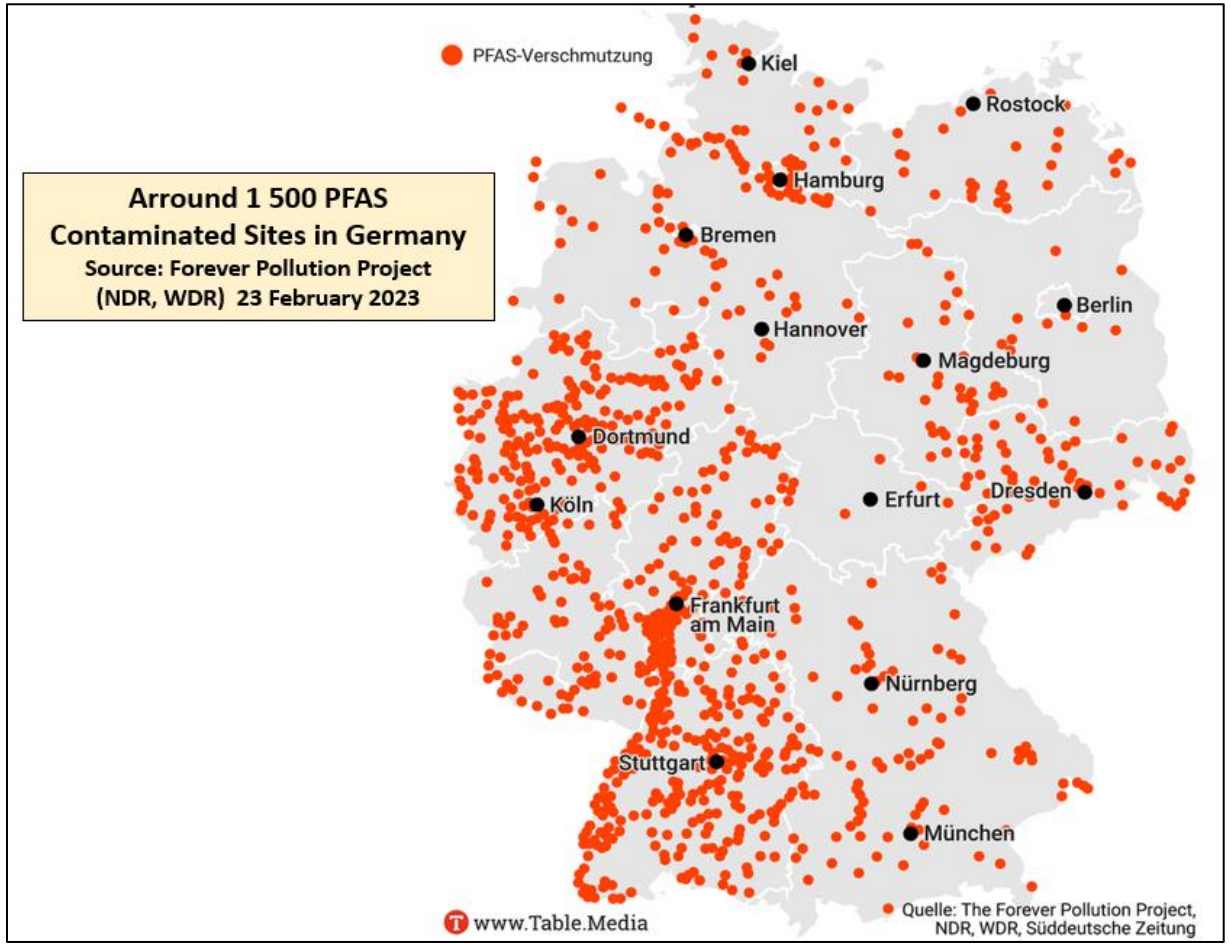
HPC INTERNATIONAL SAS

PFAS : la situation au début 2023

Env. 1 000 Sites en France



Env. 1 500 Sites en Allemagne



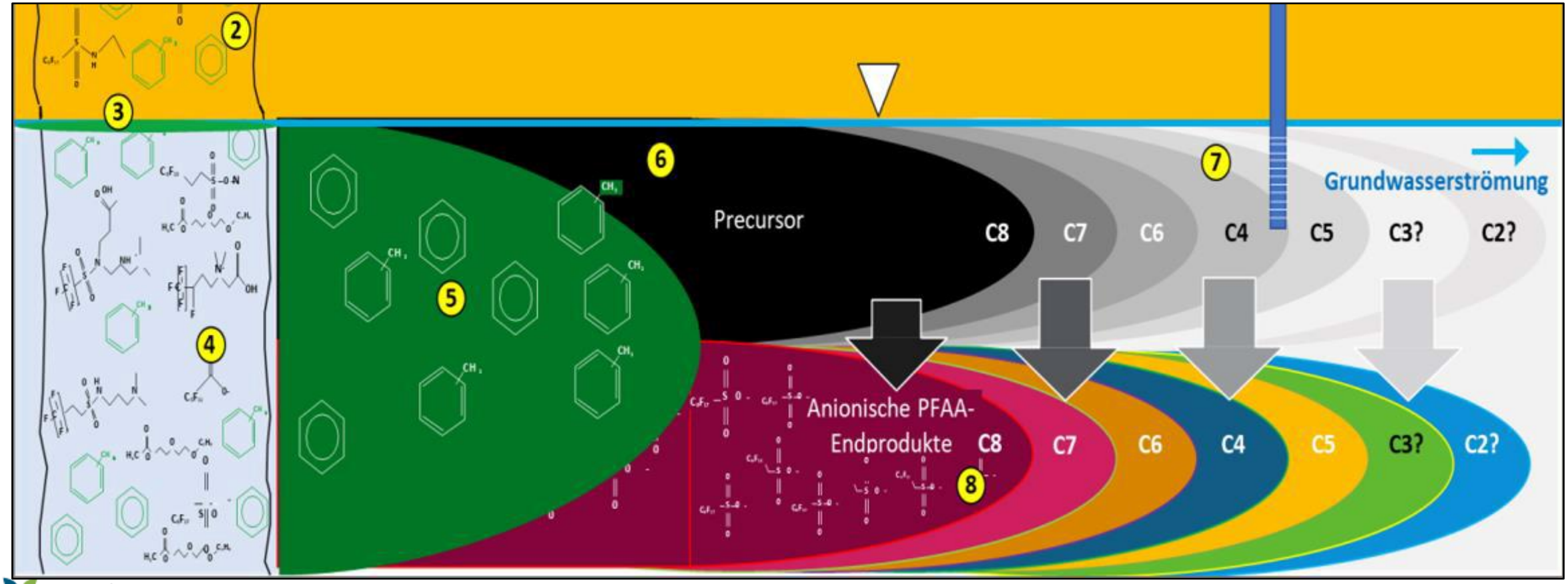
PFAS (PFC, PFT):

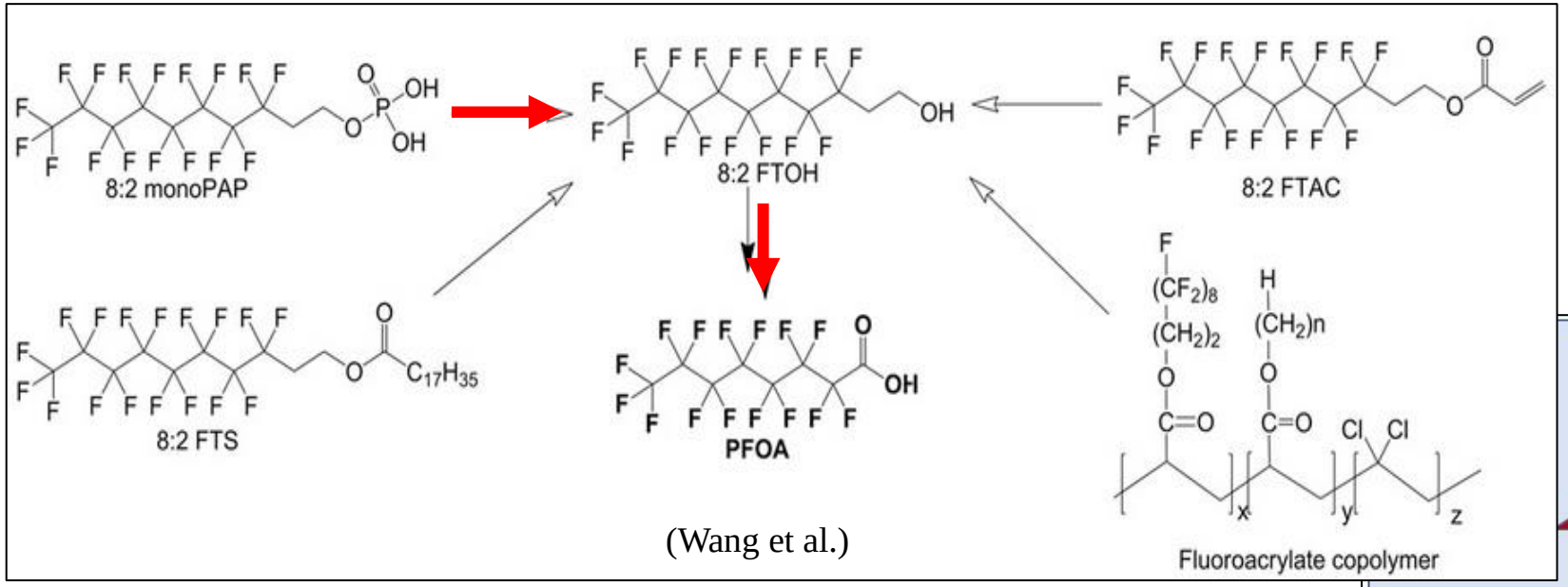
1. PFAS ?: Description court des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Contexte réglementaire & Valeurs limites
5. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
6. Traitements

PFAS : Chimie environnementale

Schema de Biotransformation des PFAS polyfluorés → vers des PFAS perfluorés

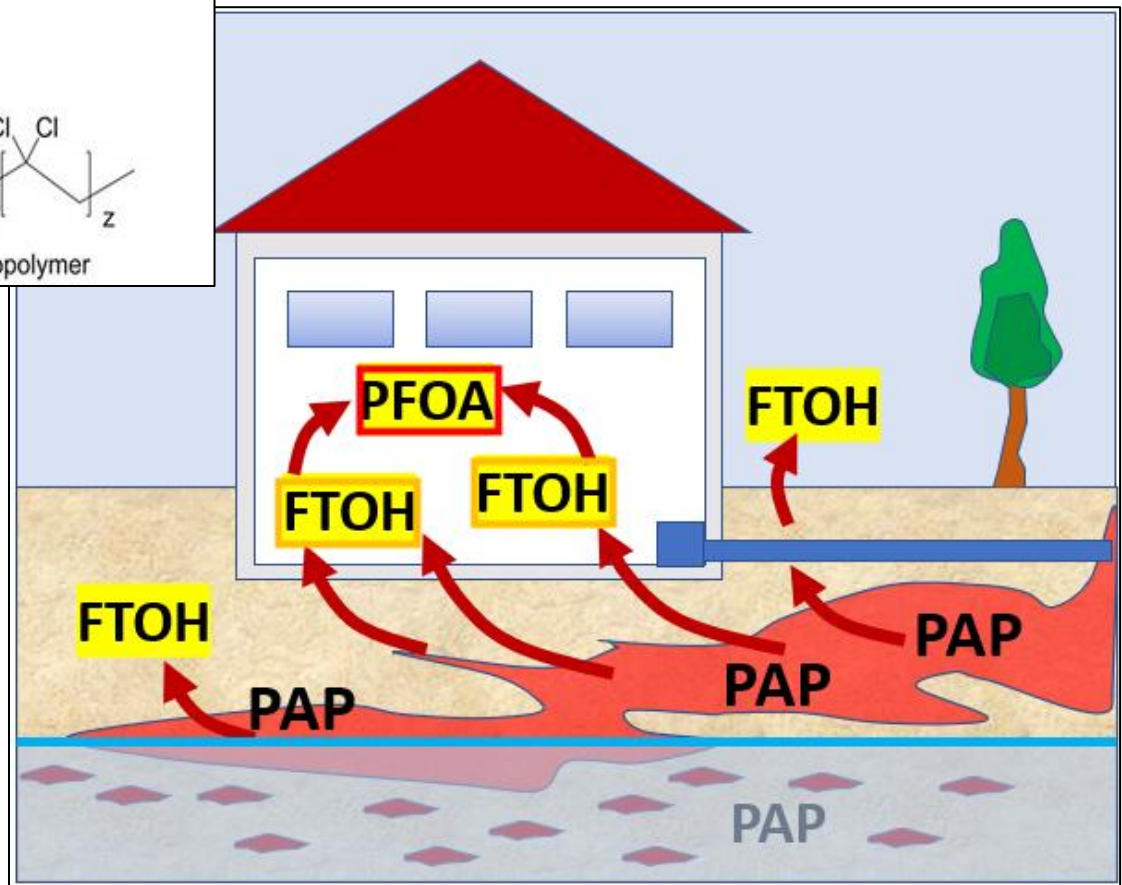
(Hurst 2017 & UBA 2020)





(Wang et al.)

FTOH volatils dans les gaz du sol et l'air ambiant

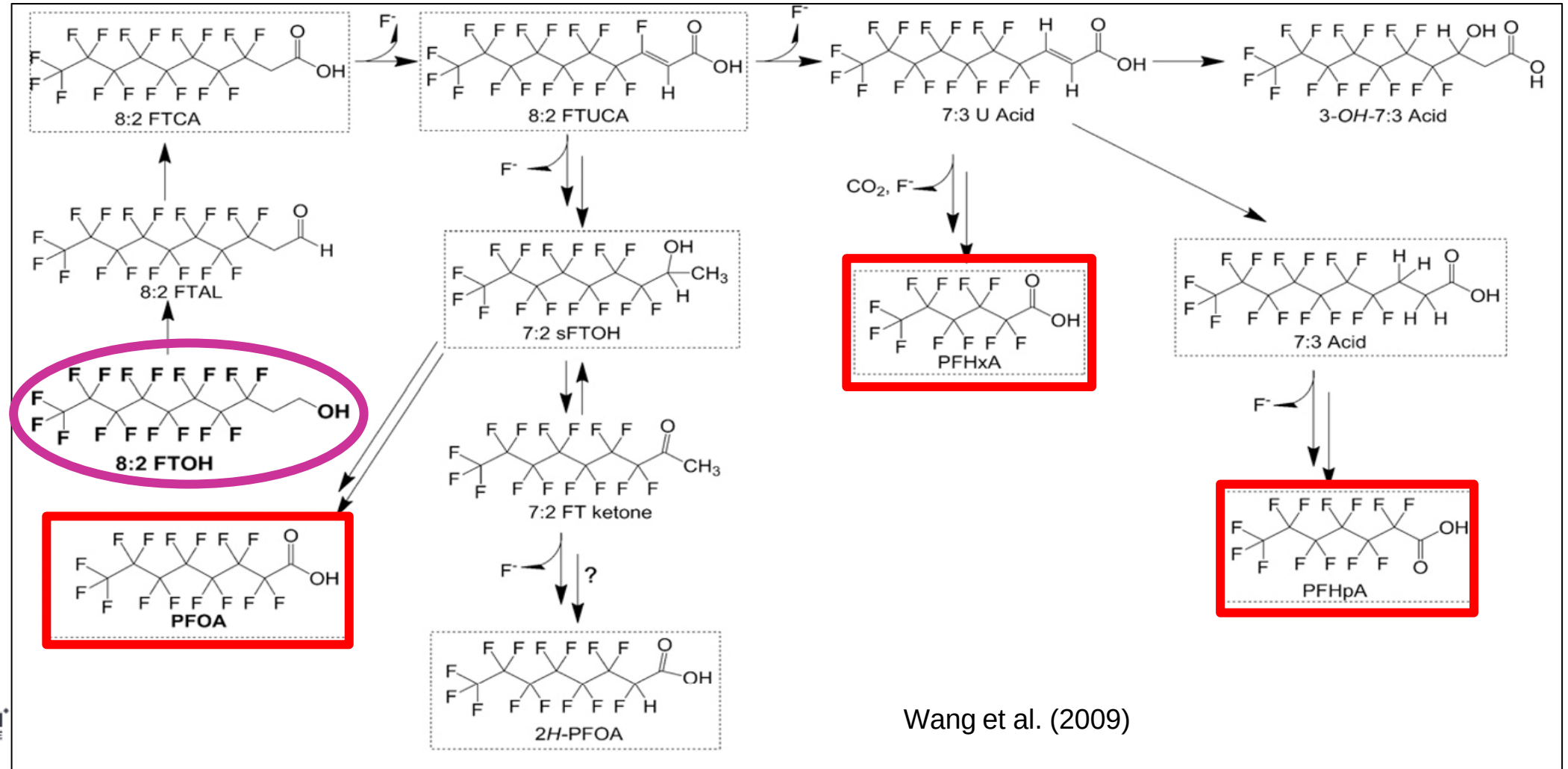


PFAS : Mécanismes de biotransformations:

→ par ex.: PAP→ FTOH→ PFOA, etc.

FTOH: Alcools Fluortélomères

Biotransformation des Alcools Fluorotélomeres et formation d'autres PFAS Acides carboxyliques perfluorés PFAS → PFOA, PFHxA, PFHpA, 2H-PFOA & Acide 7:3 (7:3 FTCA)



Wang et al. (2009)

PFAS (PFC, PFT):

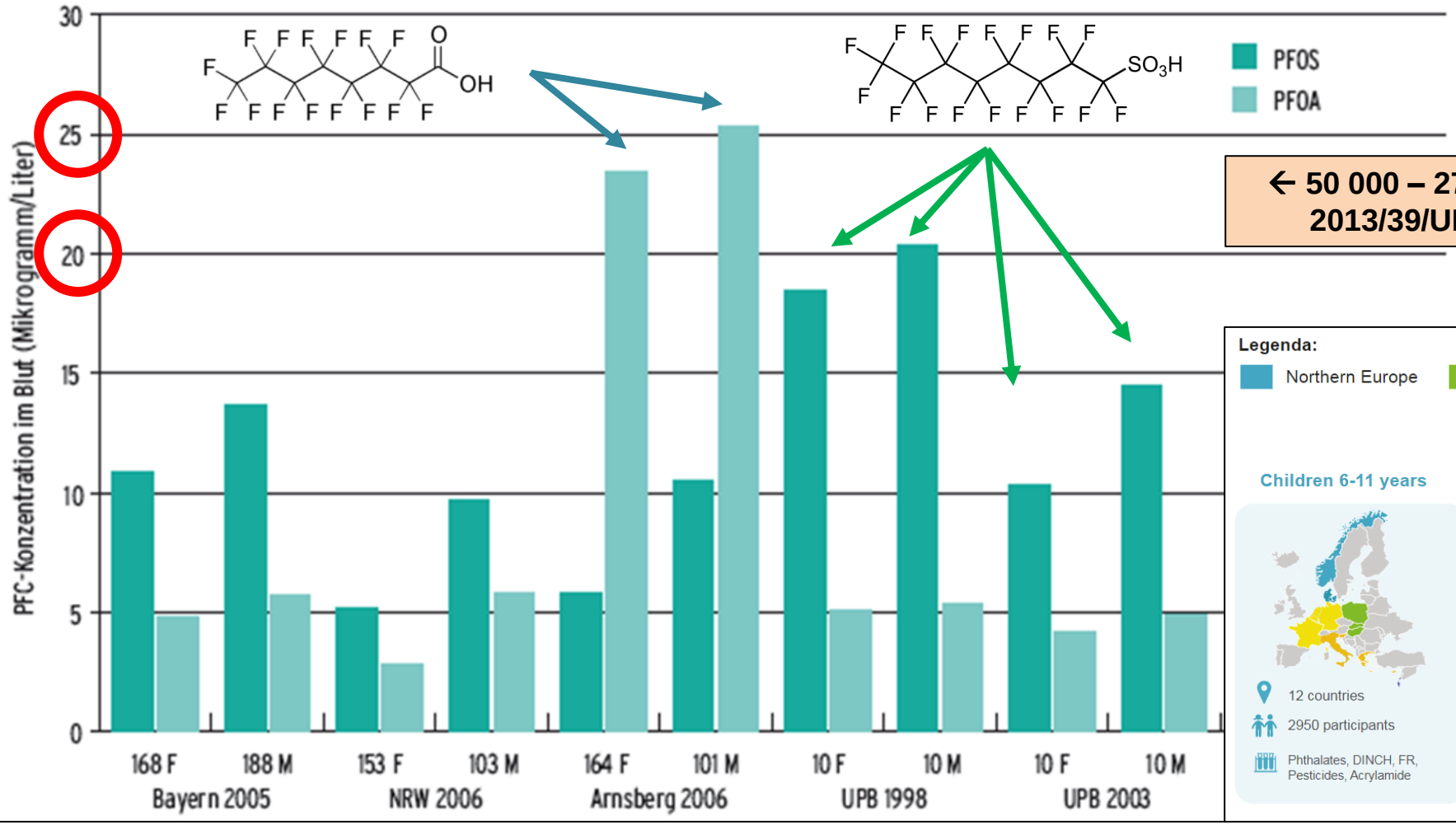
1. PFAS ?: Description court des polluants
2. Sources des Contaminations & des Pollutions
3. Chimie environnementale
4. Toxicologie & écotoxicologie & Valeurs limites
5. Investigations & Evaluations des risques (ERS)
6. Traitements

Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

HPC INTERNATIONAL SAS

Exemples du Guide et Fiches de la SFSE de Management des PFAS : Fiche 11 :

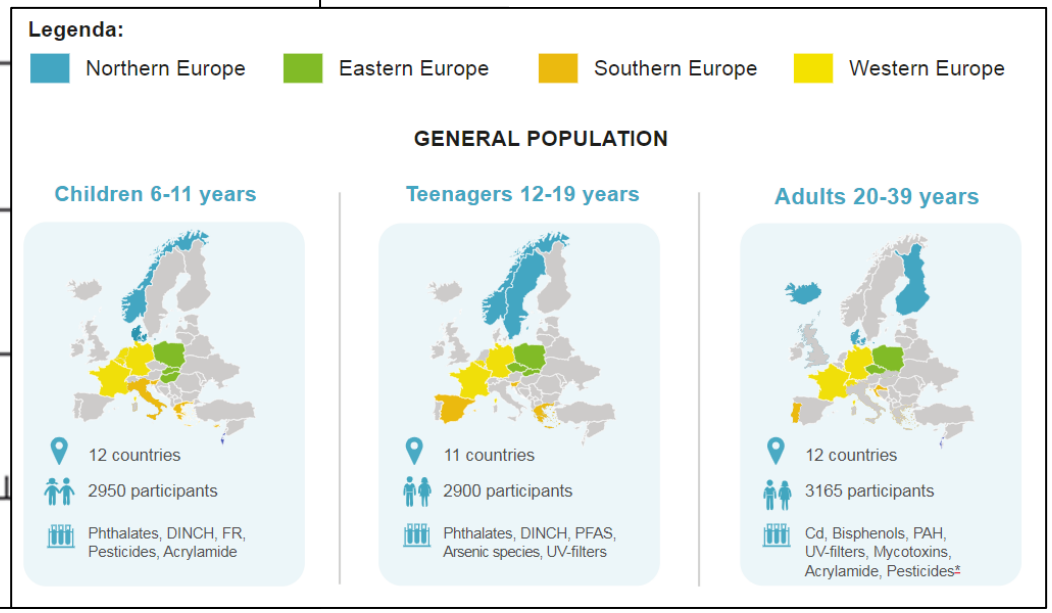
PFOA & PFOS: Présence sanguine en µg/l (UBA 2015)



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

← 50 000 – 270 000 x supérieur à la Directive 2013/39/UE concernant les eaux superficielles !

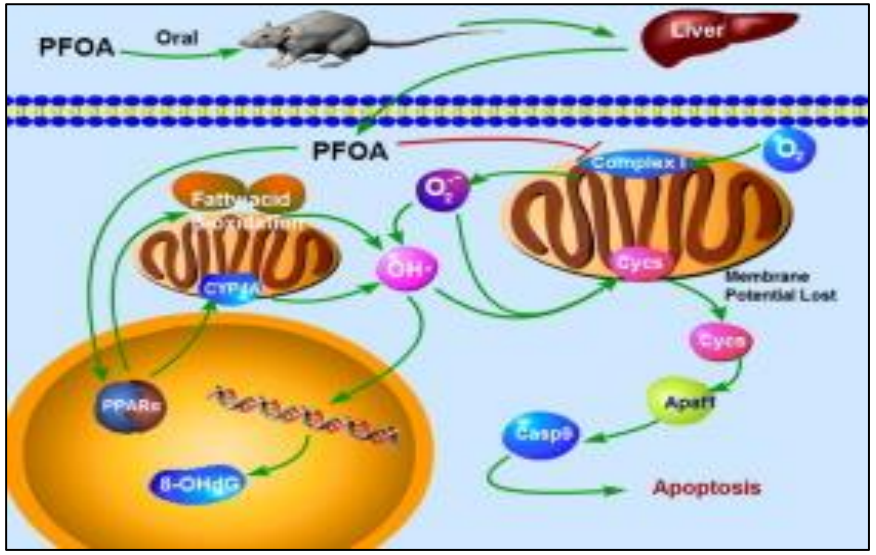
HBM4EU: 2022



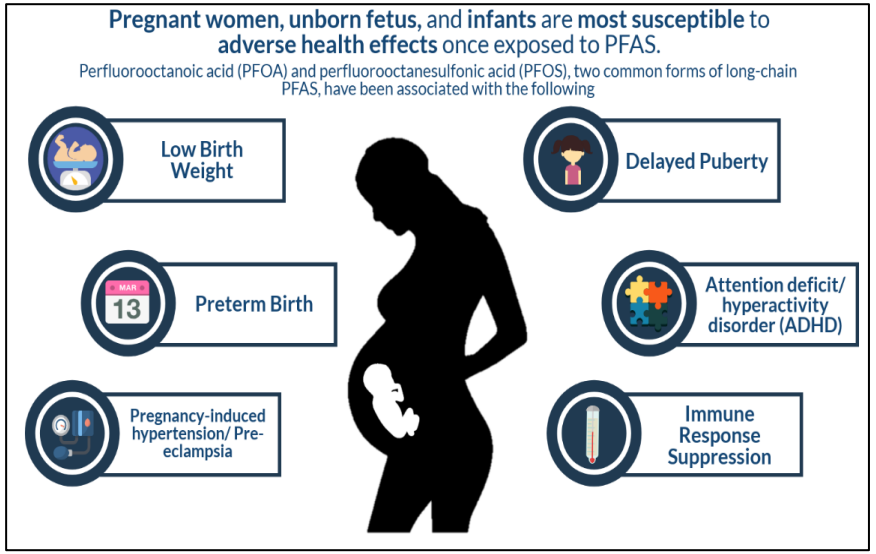
Toxicologie :

Par ex. PFOA et PFOS:

- **Perturbations endocriniennes** (sur la production d'hormones stéroïdes et la diminution des taux de testostérone…): 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



HPC INTERNATIONAL SAS

Toxicologie (US-EPA 2022) :

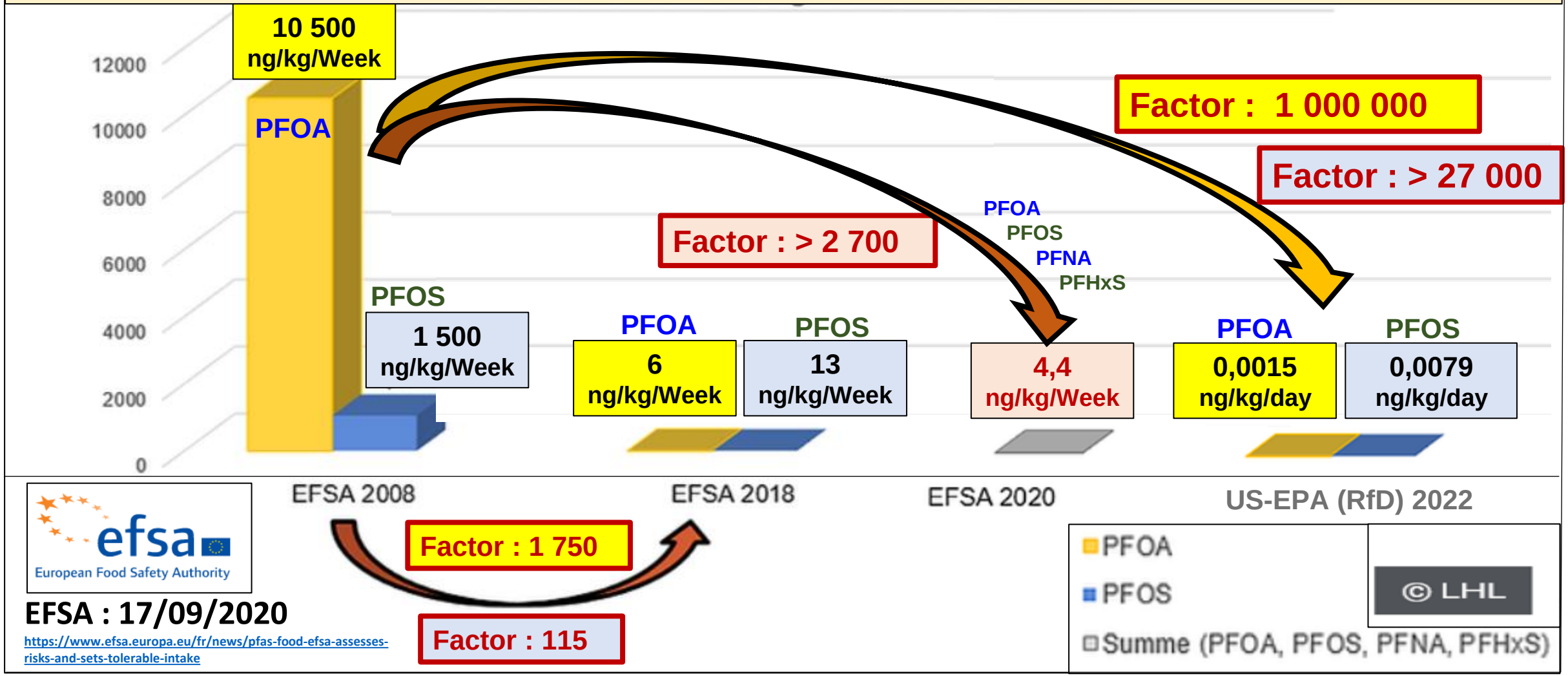
PFAS	Hepato-toxique	Develop-pement Foetal	Repro-toxique	Immuno-toxique	Hemato-toxique	Perturba-teurs endocriniens	Neuro-toxique	Carcino-gène
Acides carboxyliques perfluorés								
PFBA								
PFPeA								
PFHxA								
PFHpA								
PFOA								
PFNA								
PFDA								
PFUnA								
PFDoA								
Acides sulfoniques perfluorés								
PFBS								
PFHxS								
PFOS								
Ethersulfonates								
ADONA								
HFPO-DAGenx								

Abb.12: Effets toxicologiques de certains PFAS [84 & 178]

	Confirmé par des tests sur animaux		Effets extrapolés		Test négatifs

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

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



efsa European Food Safety Authority

EFSA : 17/09/2020

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

PFAS (PFC, PFT):

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

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
- 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.)

HPC INTERNATIONAL SAS

Paramètres pour les Analyses des PFAS recommandés (min.)

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes	Directive Européenne 2020/2184 Eau potable
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	Oui	Oui
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	Oui	Oui
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	Oui	Oui
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	Oui	Oui
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	Oui	Oui
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	Oui	Oui
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	Oui	Oui
8	Acide perfluoro-undecanoïque	PFUnDA	Oui	Oui
9	Acide perfluoro-dodecanoïque	PFDoDA	Oui	Oui
10	Acide perfluoro-tridecanoïque	PFTrDA	Oui	Oui
11	Acide perfluoro-tetradecanoïque	PFTeDA	Oui	Non
12	Acide perfluoro-hexadecanoïque	PFHxDA	Oui	Non
13	Acide perfluoro-octadecanoïque	PFOcDA	Oui	Non
14	Perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	Oui	Oui
15	Perfuoro-pentane sulfonique	PFPeS	Oui	Oui

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes	Directive Européenne 2020/2184 Eau potable
16	Perfuoro-hexane sulfonique	PFHxS	Oui	Oui
17	Perfuoro-heptane sulfonique	PFHpS	Oui	Oui
18	Perfluoro-octane-sulfonique	PFOS	Oui	Oui
20	Perfuoro-nonane sulfonique	PFNS	Oui	Oui
21	Perfuoro-decane sulfonique	PFDS	Oui	Oui
22	Perfuoroundecane sulfonique	PFUnDS	Oui	Oui
23	Perfuorododecane sulfonique	PFDoDS	Oui	Oui
24	Perfuorotridecane sulfonique	PFTriDS	Oui	Oui
25	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	associé au PFOS	Non
26	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	Oui	Non !
27	6:2 Fluorotélomère alcool	6:2-FTOH	Oui	Non !
28	8:2 Fluorotélomère alcool	8:2-FTOH	Oui	Non !
29	Acide Hexafluoro-propylèneoxydimer	HFPO-DA	Oui	Non
30	Acide 3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy) propanoïc	ADONA	Oui	Non

Les PFAS en Jaune et orange ne sont pas (encore) intégrés dans la liste de la Directive Européenne 2020/2184 concernant l'eau potable

VTR internationales (env. 170)

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

Wieneke et al. 2020 : Toxicological Equivalence factors on PFOA RfD

Exemples →

Substance	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sigle	Security Factor	Organization
		Exposure path	Target organ	Value				
PFBA	NC	oral	Hepatic	2,9 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / 2400	TCEQ 2016
		inhalation	Hepatic	10 µg/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFPeA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHxA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHpA	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rate	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017
PFOA	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rate	TDI	BMDL5	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
			Hepatic, Mammar, Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RfD	LOAEL (81*100)	TECQ 2016
		inhalation	Hepatic	4,1 ng/m^3	Rate	RfC	NOAEL / (81*3000)	TCEQ 2016
	C	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d)$^{-1}$	Epidemio	SF	-	New Jersey 2017
PFNA	NC	oral	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampsire DES 2019
		inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m^3	Rate	RfC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2018
PFDA	NC	oral	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
		inhalation		53 ng/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,9 µg/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and thyroïdal	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
		inhalation		13 ng/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	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 2016
PFOSA	NC	oral	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	Same than PFOA NOAEL/(81*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,1 ng/m^3	Rate	RfC	same than PFOA NOAEL/(81*3000)	TCEQ 2016

Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant

HPC INTERNATIONAL SAS

No	TRD: Toxicological Reference Dose Choice Criteria	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	Mamifer	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	Non		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	Non		Yes	
13b	Transposition: Animal to Human	Non	Yes		
13c	Transpositions : From in-Vitro	Non		Yes	
13d	Transpositions : From in-Silico	Non		Yes	
14	Study time-representatively	≥ chronic (> 180 d)	sub-chronic (90 d) to chronic (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	

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

HPC INTERNATIONAL SAS

VTR : Facteurs d'équivalence de toxicité

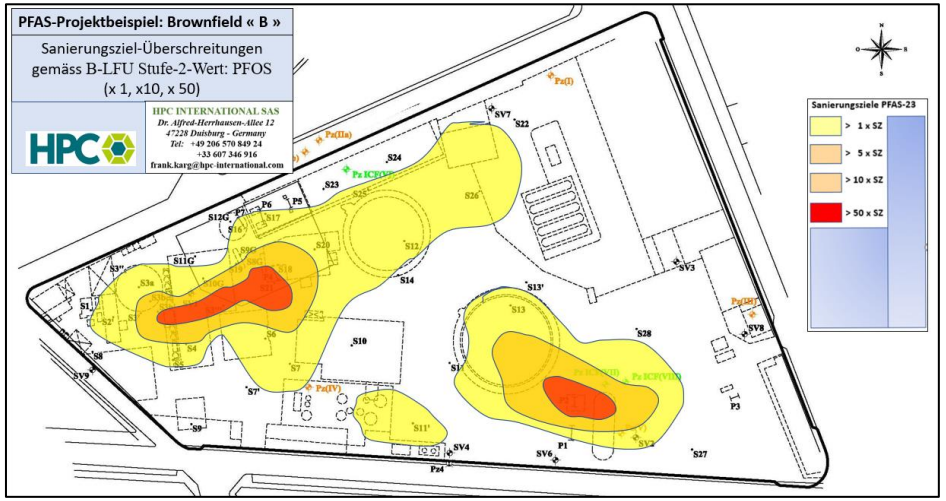
Example: W. Bil et al. (2020):

RPF : Relative Potency Factors, Basés sur une Equivalence toxicologique par rapport au PFOA

Per- and polyfluorinated congeners	RPF
Sulfonic acids	
PFBS	0.001
PFPeS*	$0.001 \leq RPF \leq 0.6$
PFHxS	0.6
PFHpS*	$0.6 \leq RPF \leq 2$
PFOS	2
PFDS*	2
Carboxylic acids	
PFBA	0.05
PFPeA*	$0.01 \leq RPF \leq 0.05$
PFHxA	0.01
PFHpA*	$0.01 \leq RPF \leq 1$
PFOA	1
PFNA	10
PFDA*	$4 \leq RPF \leq 10$
PFUnDA	4
PFDoDA	3
PFTrDA*	$0.3 \leq RPF \leq 3$
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.

Zones à bésoin de gestion (par ex. site "P"):



INOGEN ALLIANCE

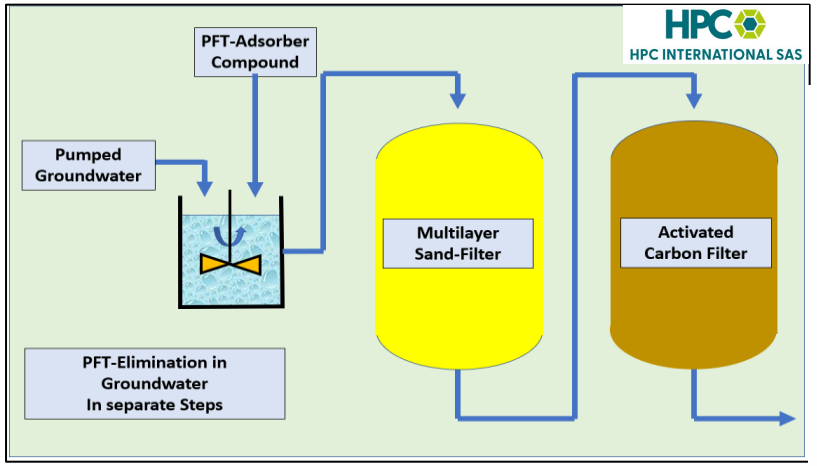
Quelques VTR des FTOHs

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 : $1,5 \times 10^6$ 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)**

PFAS (PFC, PFT):

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

Dépollution des eaux souterraines



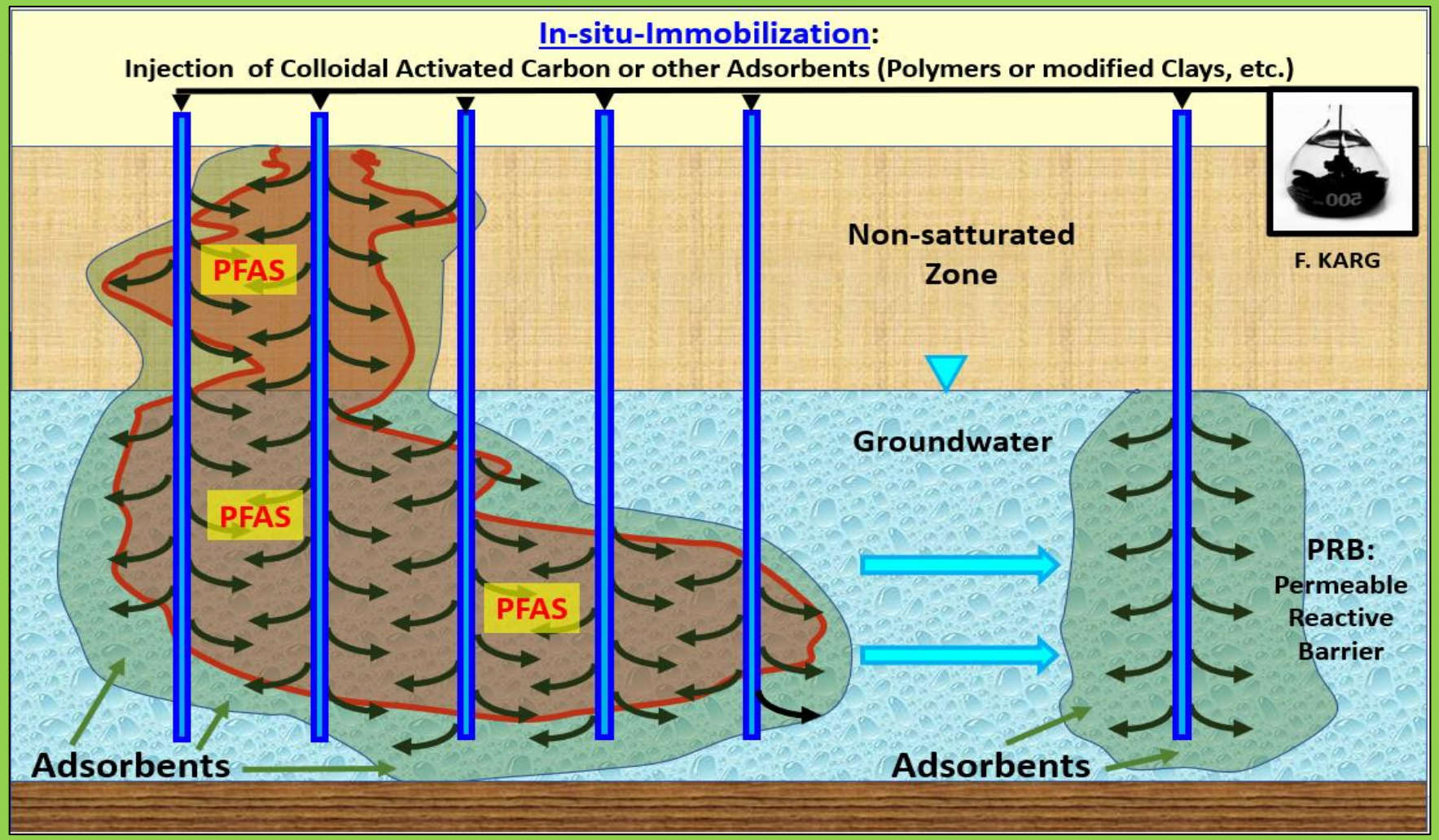
Elimination des PFAS via P&T
→ Phase flottante

SENSATEC
Traitement PFAS

HPC INTERNATIONAL SAS

Dépollution in-situ :

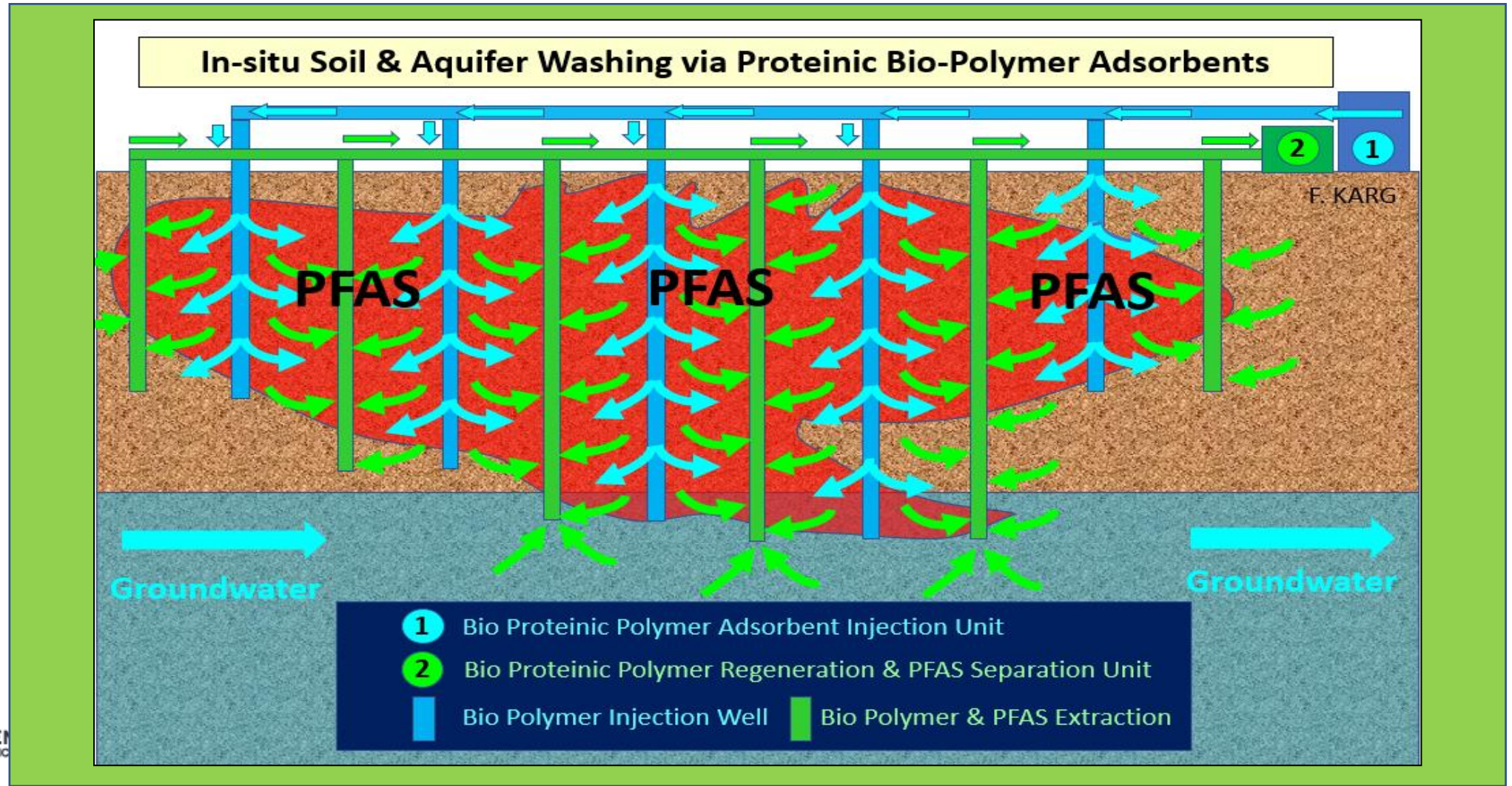
➢ Imobilization in-situ via Charbon Actif Colloidal (HPC)



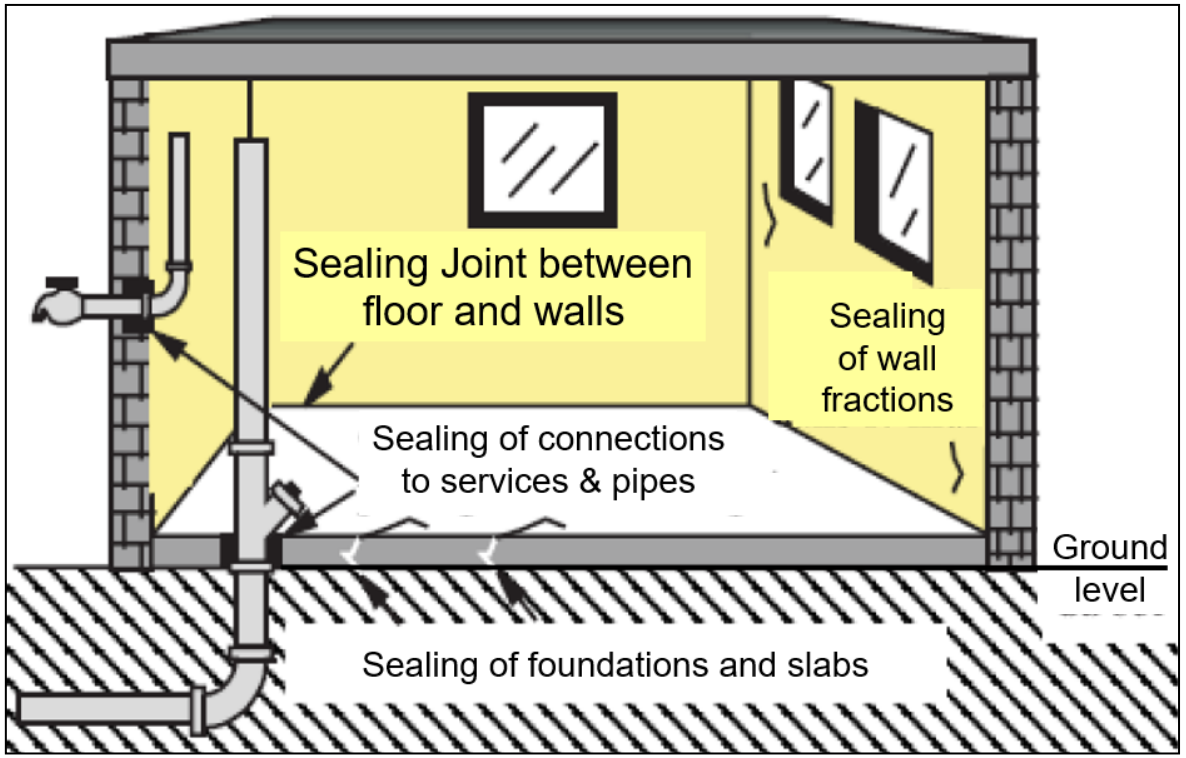
INOGEN ALLIANCE

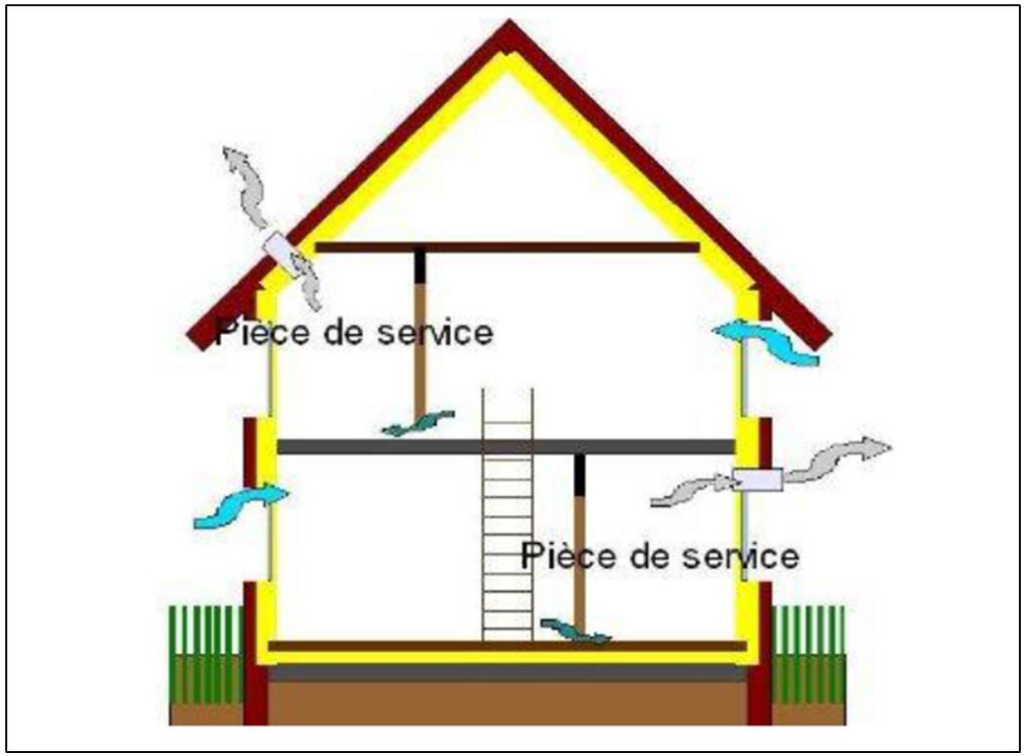
Dépollution in-situ :

- **Lavage in-situ par Bio-polymers protéiniques (HPC)**



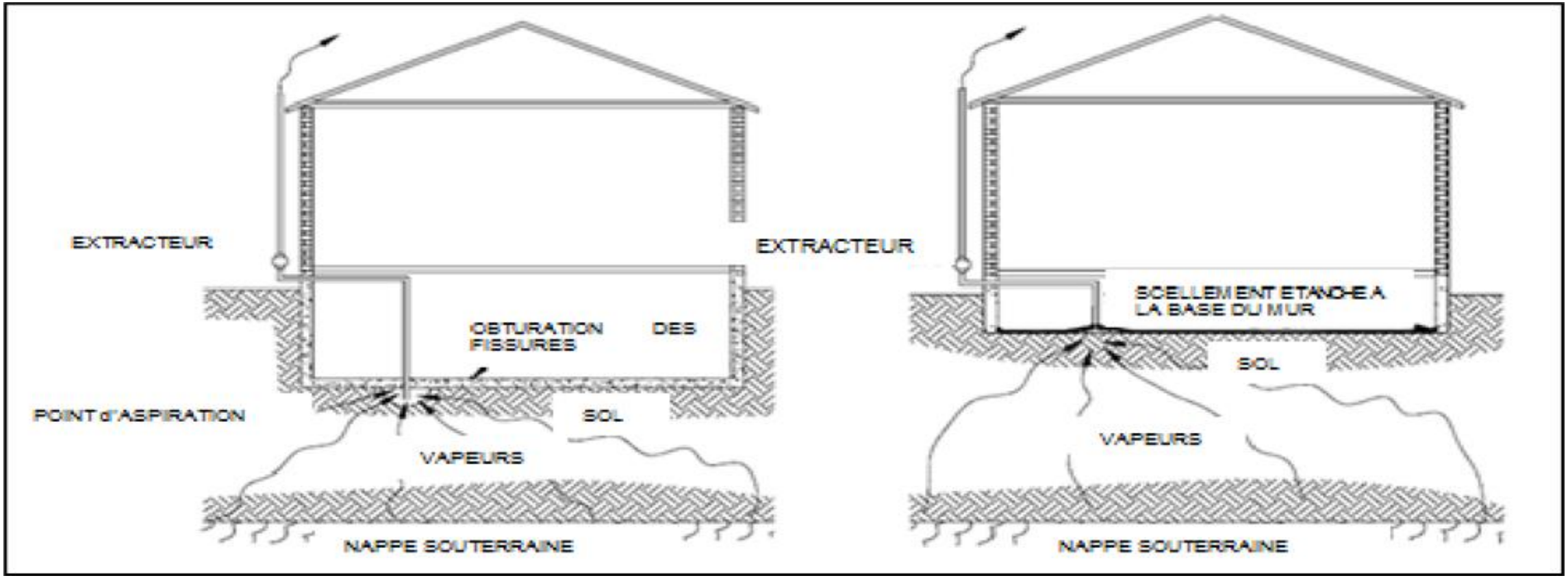
Mesures constructives de protection de l'Air Ambiant contre les Gaz du Sol (FTOH, COHV, etc.): Etanchéifications, Ventilations, Extractions





(ROBE & BRGM 2014)

Mesures constructives de protection de l'Air Ambiant contre les Gaz du Sol (FTOH, COHV, etc.) : SVE / Venting & Extraction sous Dalle



(ROBE & BRGM 2014)

Dans le cas des dépassements des CMA et en Prévention

→ I. Mesures constructives: Et.: Etanchéifications

Et. Fissures muraux

Et. des sols par béton spécial

Et. via des polyanes en PEHD, PE, etc.

Et. Par peintures étanches

Et. par Polymères

Et. latéraux par polyanes

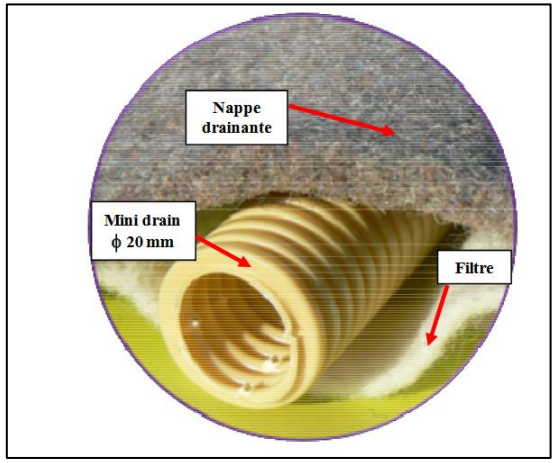
Et. Via Spraying

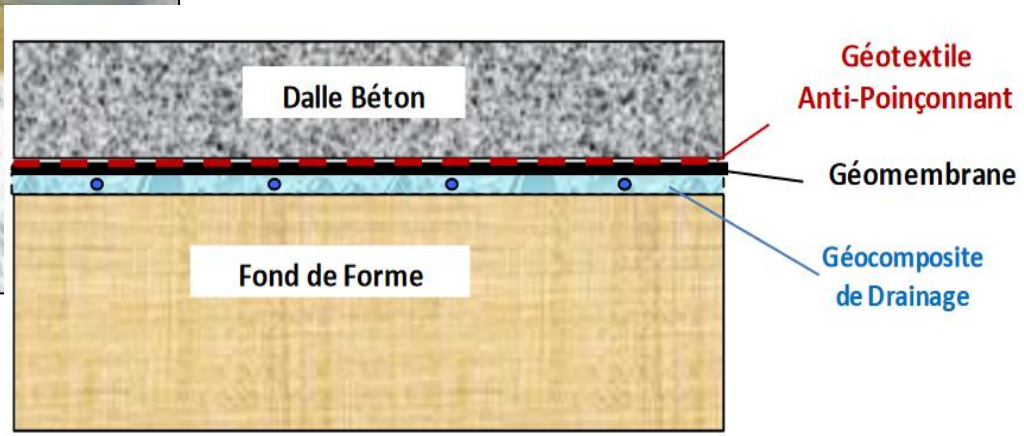
Et. des fondations

Dans le cas des dépassements des CMA et en Prévention

→ II. Mesures constructives: Drainages des Gaz

Drainages des Gaz sous Géotextiles





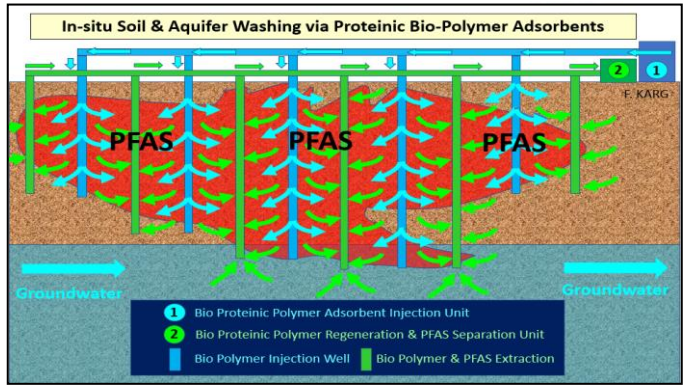
P. Gendrin et al. 2011

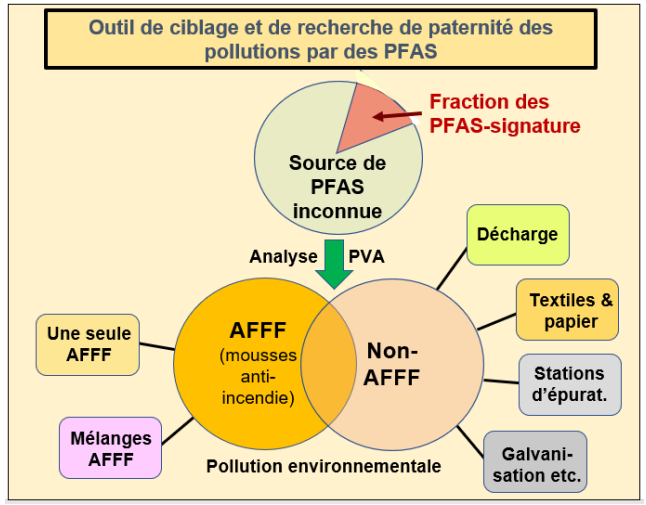
HPC INTERNATIONAL SAS

Conclusion :

Contact: frank.karg@hpc-international.com

- Il existe plus que 9 000 (à 12 000) composes 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 fluorotélomères,
- Les PFAS polyfluorés sont bio-transformés en PFAS perfluorés stables
- Il existe des milliers de sites pollués par les PFAS: sites de lutte contre l'incendie (comme sur les aéroports…), sites industriels, terres agricoles avec boues de STEP….
- Des investigations des sites et des évaluations des risques sont nécessaires !
- Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économiques



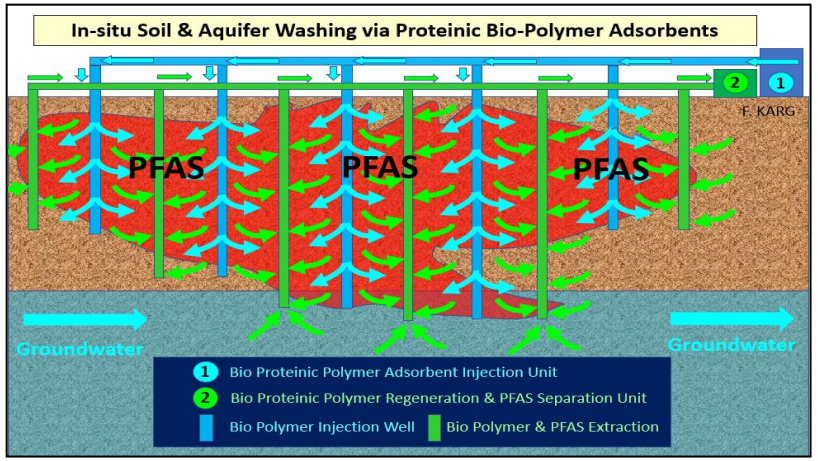
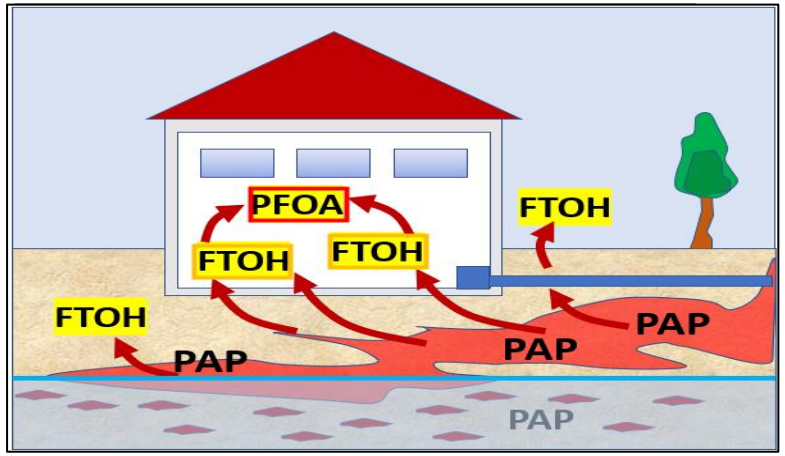


Management des pollutions PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Santé - Environnement

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