

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

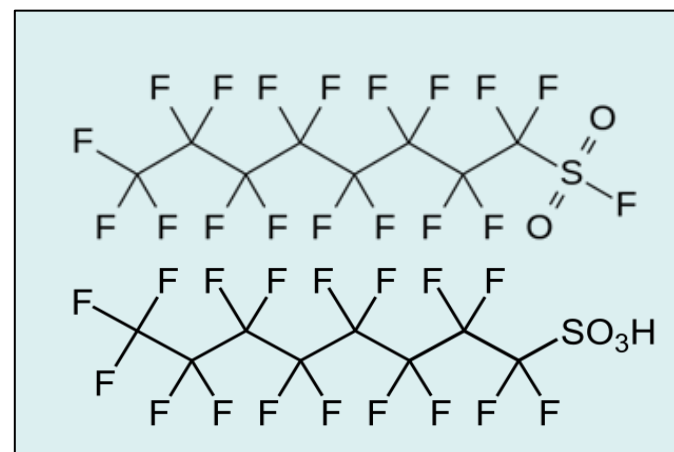
Tél : +33 (0) 607 346 916, Email : frank.karg@hpc-international.com

**Gestion des FTOH : Fluorotélomère-Alcools (PFAS volatils) dans l'air ambiant des
ERP sensibles (écoles, crèches) & habitations :
diagnostics et évaluation des risques toxicologiques**

*Management of FTOH: Fluorotelomere Alcohols (volatile PFAS) in Ambient Air of
public site use scenarios (Schools, Kindergartens) & Residences: Site Investigation,
Toxicological Health Risk Assessments (TERQ)*

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



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



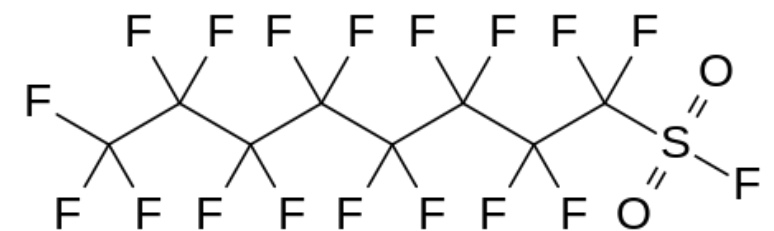
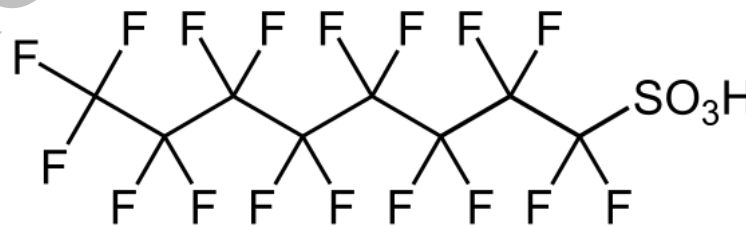
PFAS (PFC, PFT):

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

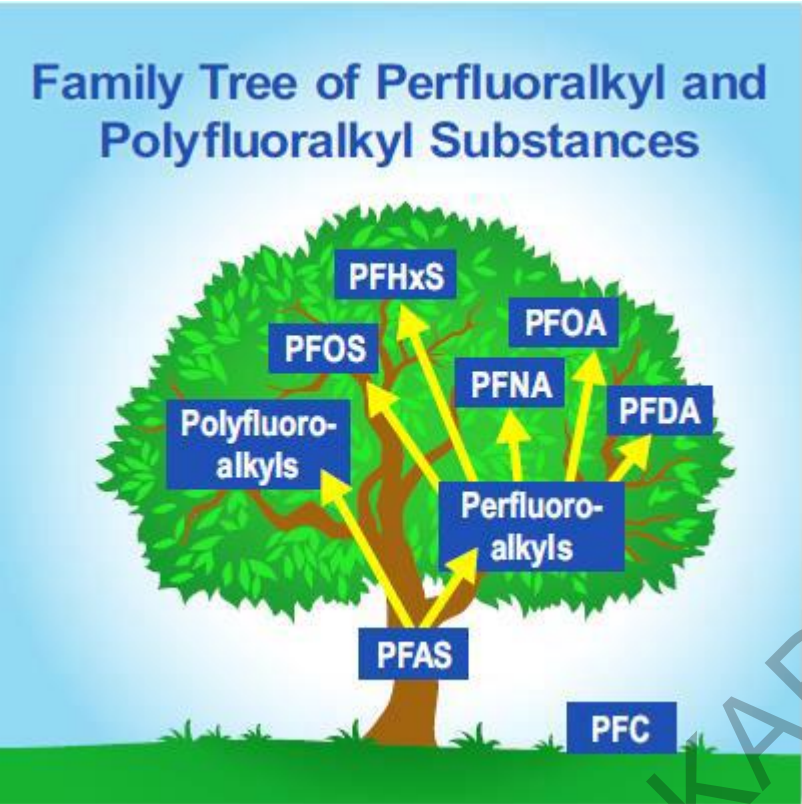


PFAS ?

- 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 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 alkyliques (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 halogénures,
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 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

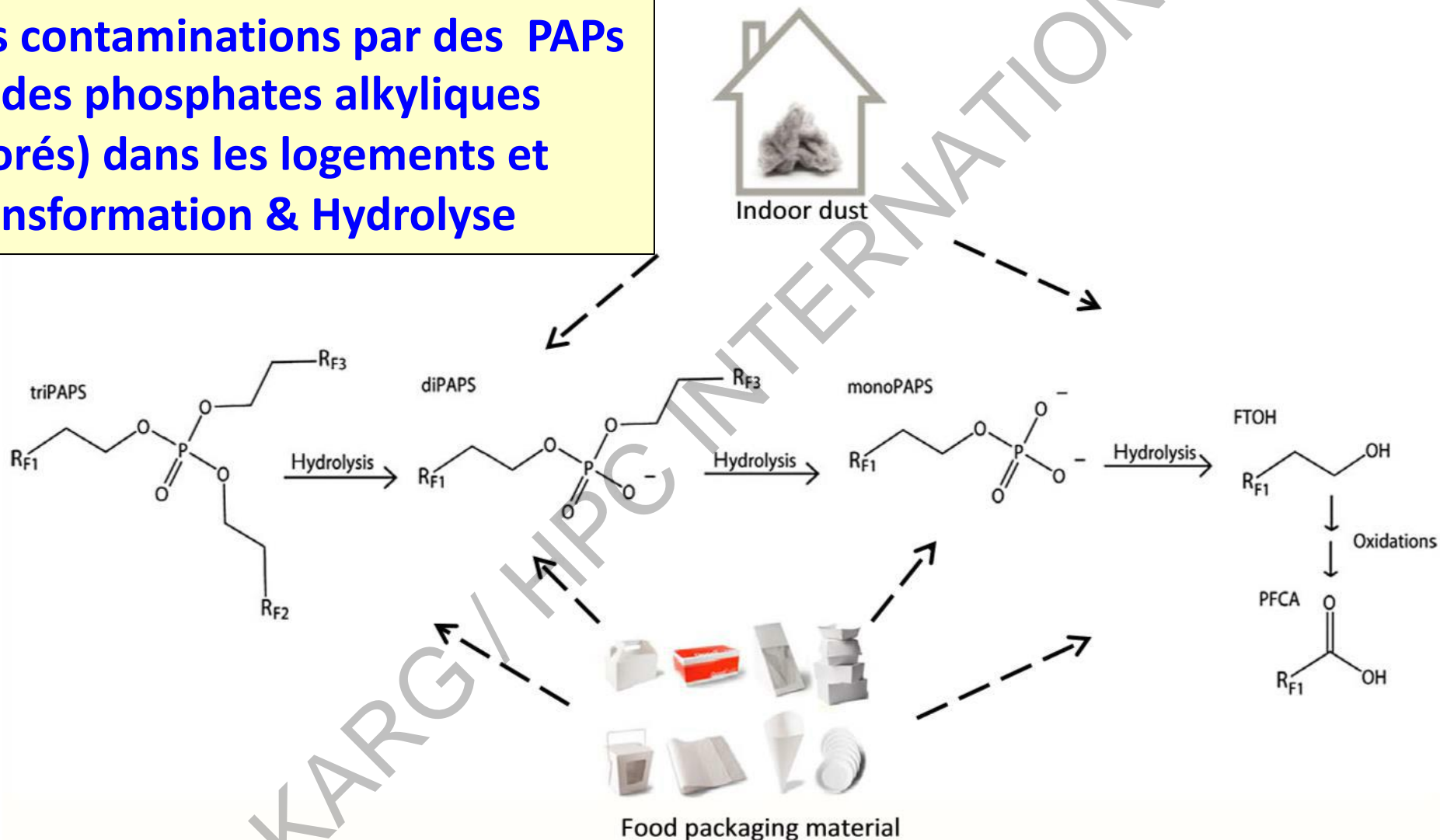
- Galvanisation
- Production des Textiles
- Food Packaging (Polymers)
- Production des Papiers & Cartons
- Raffineries, Industrie Photographique & encres
- Matériel de Construction (Bétons):
par ex. C₈-C₂₀-gamma-omega-perfluoro Thiols)
- Peintures, Encres & Laces
- Modules électroniques & semi-conducteurs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



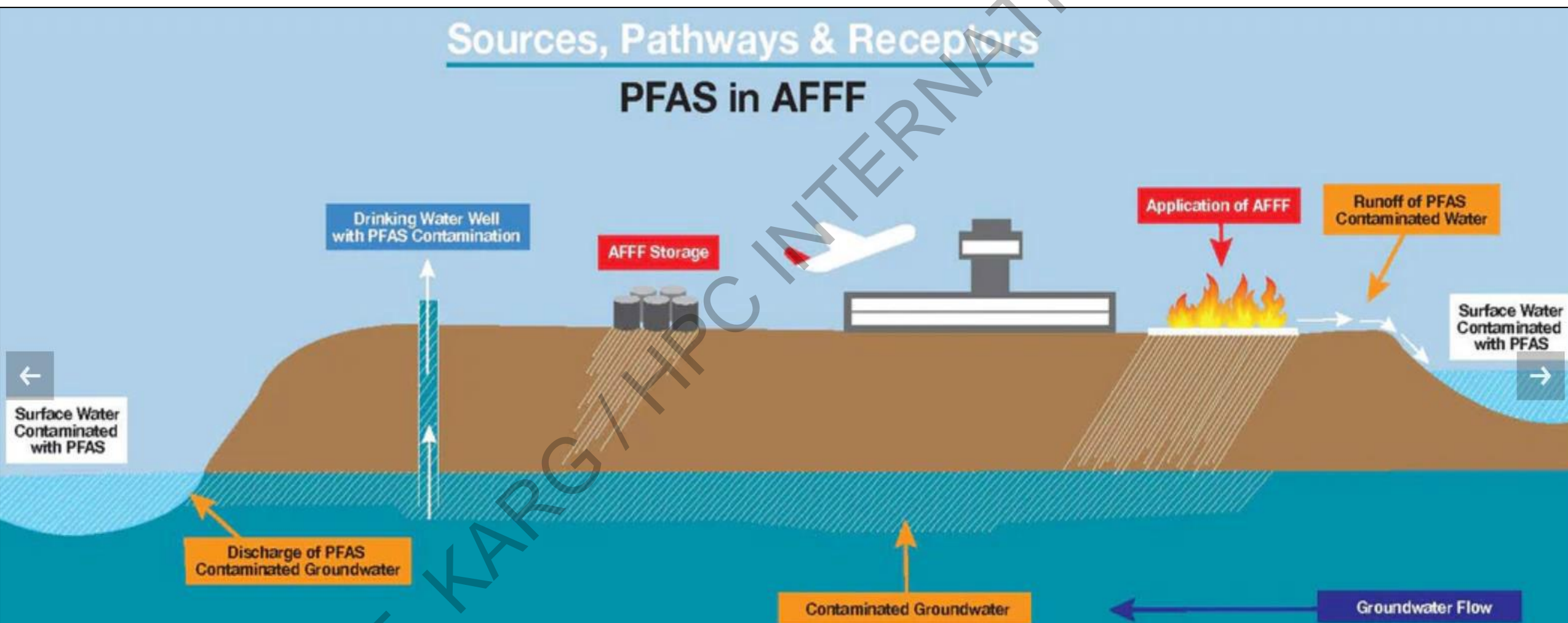
Utilisation des PFAS (AFFF) sur
l'ancienne Base Aérienne
BA 103 (700 ha)



Sources des contaminations par des PAPs
(Esters des phosphates alkyliques
polyfluorés) dans les logements et
Biotransformation & Hydrolyse



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



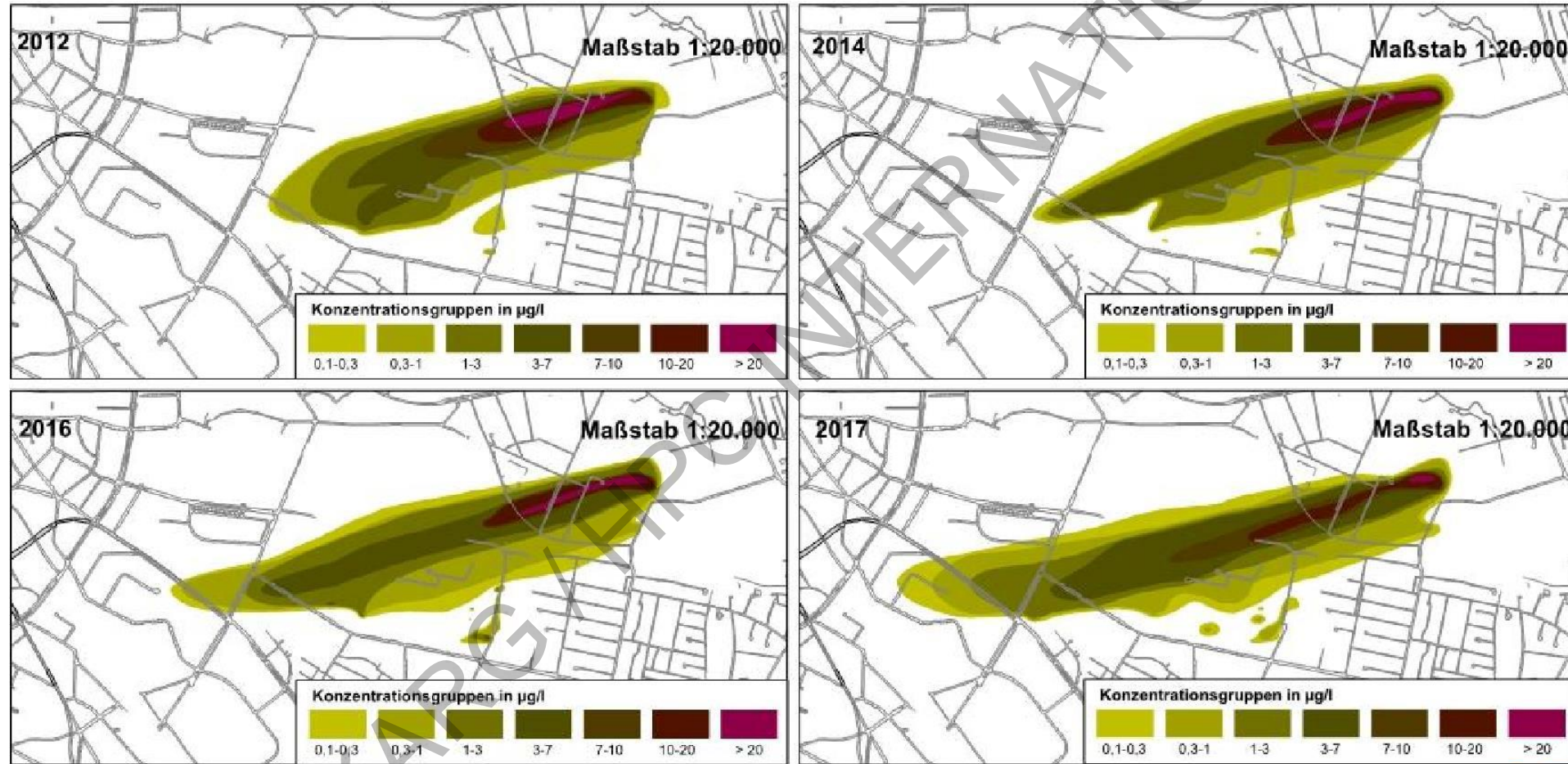
Gestion des PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances: Pollutions environnementales et Risques pour la Santé

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



Quelle: Spiegel Online 19.11.2016 / KTVU-TV / AP

PFAS dans les ESO : Panaches des pollutions dans les eaux souterraines



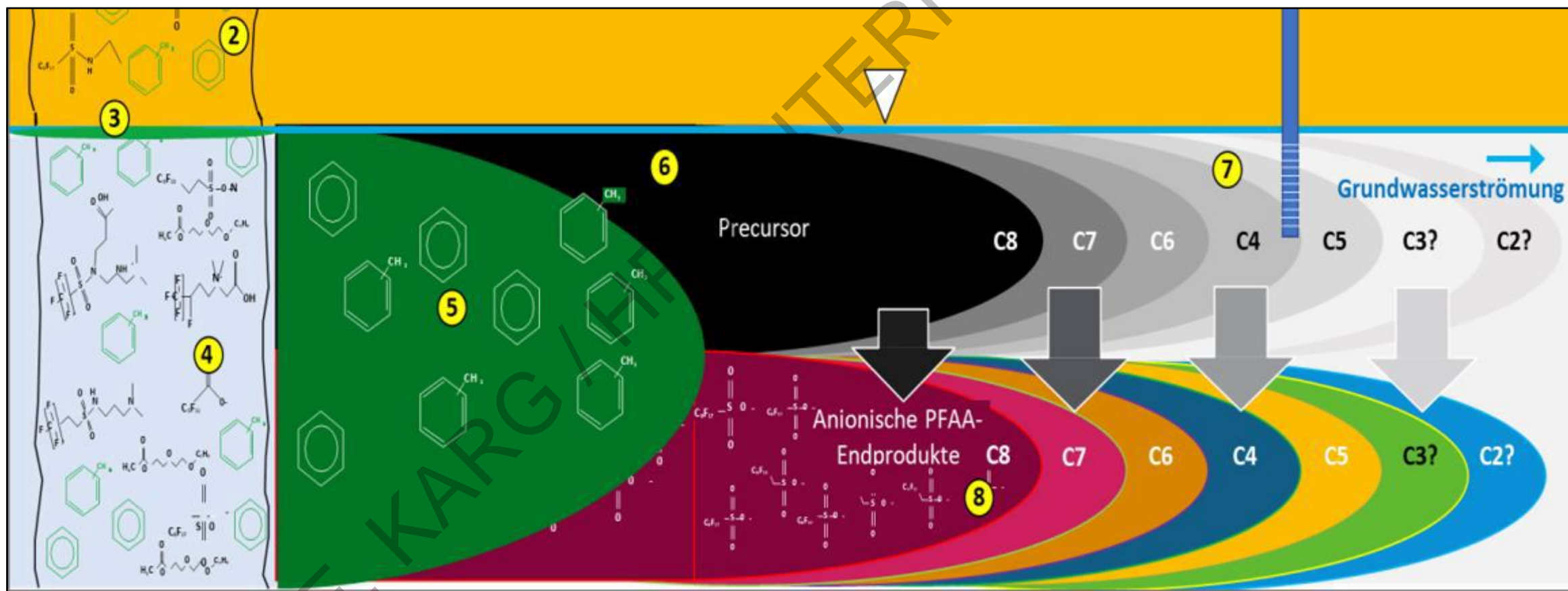
PFAS (PFC, PFT):

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



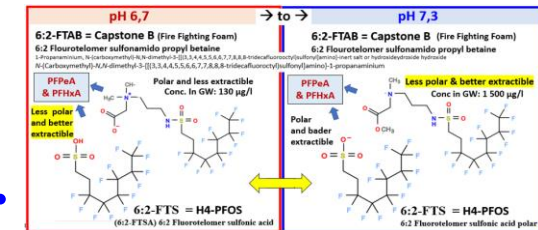
PFAS : Chimie environnementale

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



PFAS : Chimie Environnementale

- Si les « Précurseurs" (PFAS polyfluorés) ne sont pas pris en compte par des investigations, une évaluation des risques peut conclure qu'aucun PFAS perfluoré n'est (encore) présent.
- La biotransformation des Précurseurs peut conduire à la formation de nouveaux carbones perfluorés et acides sulfoniques.
- 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.

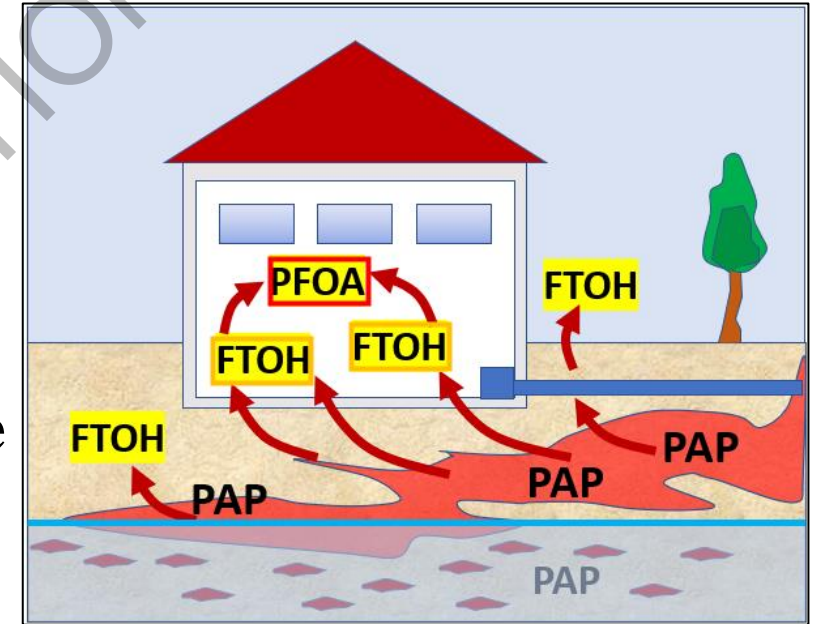


PFAS : Chimie Environnementale

Mécanismes de Biotransformations des PFAS:

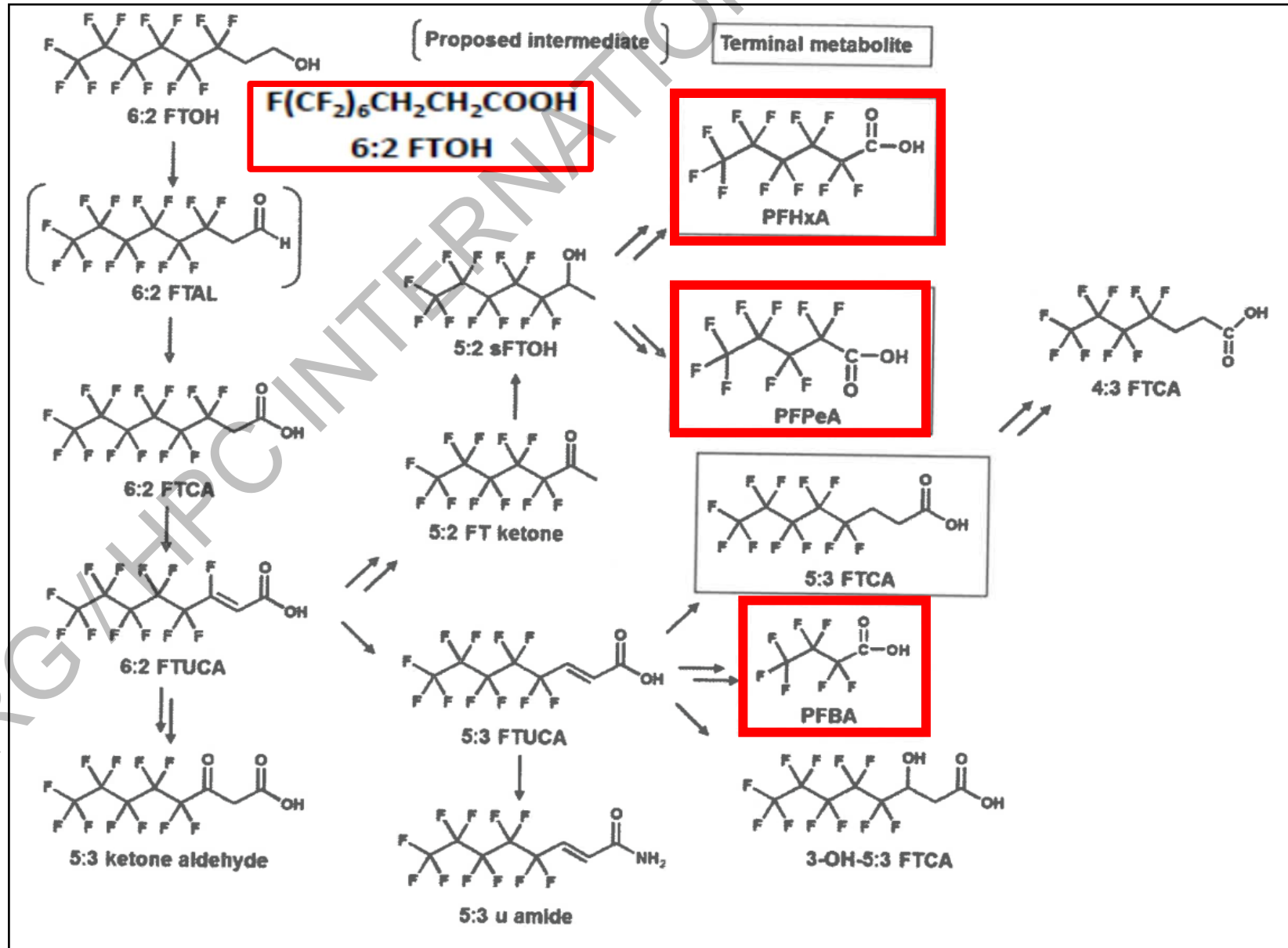
→ → par ex.: PAP → FTOH → PFOA, etc.:

- 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 fluortélomères, 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 PFHxA, PFHpA, PFOA et 2H-PFOA



PFAS : Chimie Environnementale

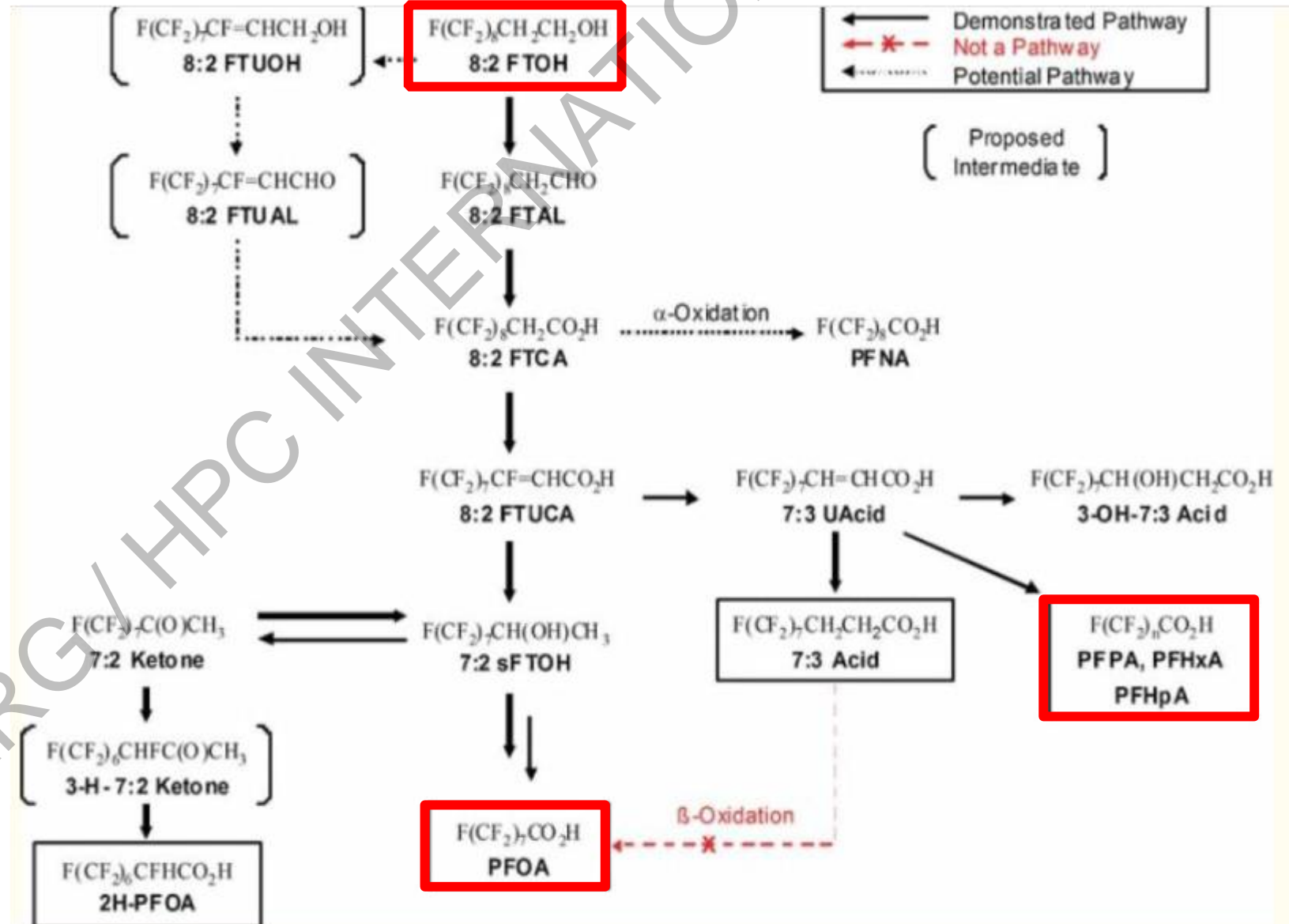
Biotransformation
du Fluorotelomer
alcohol: 6:2 FTOH
to
PFHxA, PFPeA,
PFBA
& 5:3-FTCA



PFAS : Chimie Environnementale

Biotransformation
des Alcools
Fluorotélomères :
8:2 FTOH
envers

PFOA, PFHxA, PFHpA,
2H-PFOA & Acid 7:3
(7:3 FTCA)



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

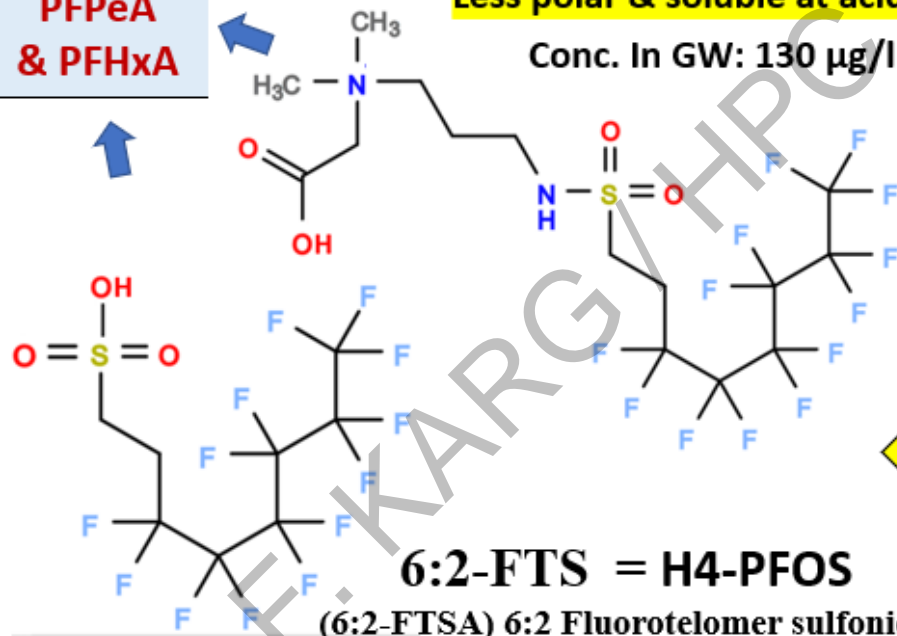
1-Propanaminium, N-(carboxymethyl)-N,N-dimethyl-3-[[[(3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctyl)sulfonyl]amino] and inert salt

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

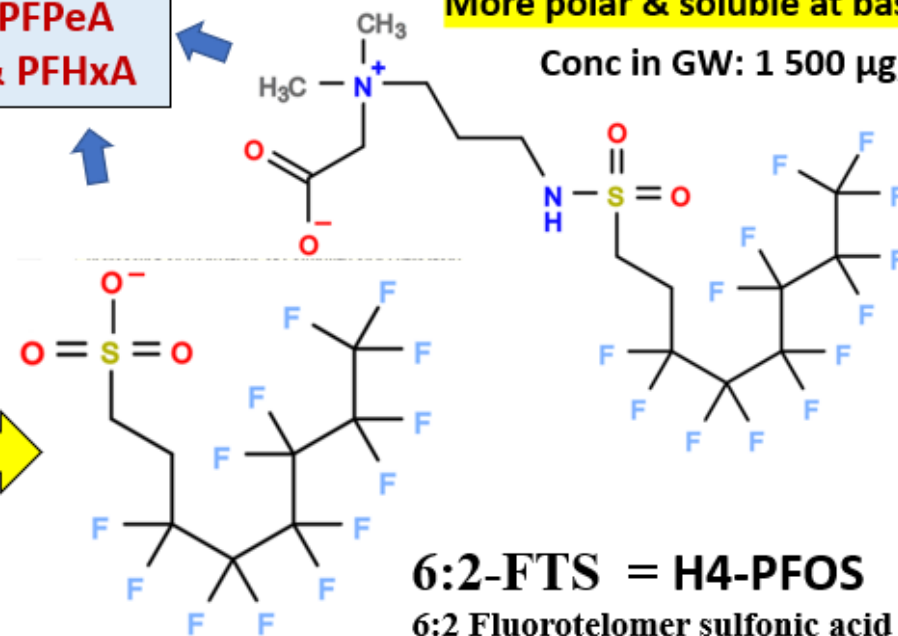
6:2-FT(S)AB = Capstone B (Fire Fighting Foam)

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



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



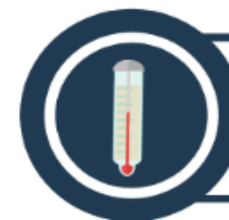
Preterm Birth



**Attention deficit/
hyperactivity
disorder (ADHD)**



**Pregnancy-induced
hypertension/ Pre-
eclampsia**



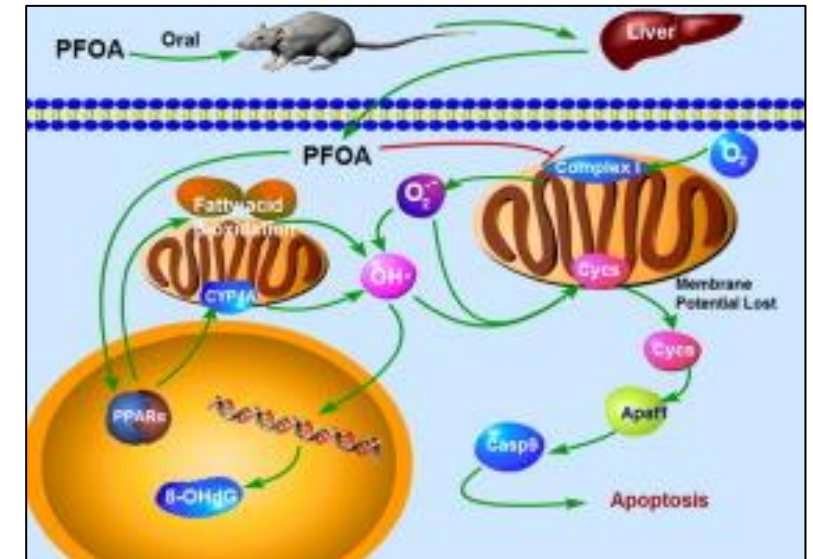
**Immune
Response
Suppression**



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 : Résumé (US-EPA)

	# of Carbons	Liver	Develop-mental	Repro-ductive	Immune	Hema-tologic	Thyroid	Neuro-behavioral	Tumors
Perfluoroalkyl Carboxylates									
PFBA	4	■	■	■	□	■	■	□	□
PFPeA	5	□	□	□	□	□	□	□	□
PFHxA	6	■	■	■	□	■	■	□	□ (Negative)
PFHpA	7	■	□	□	□	□	□	□	□
PFOA	8	■	■	■	■	■	■	■	■
PFNA	9	■	■	■	■	■	■	□	□
PFDA	10	■	■	■	■	■	■	■	□
PFUnA	11	■	■	□	■	□	□	□	□
PFDoA	12	■	■	■	■	■	□	■	□
Perfluoroalkyl Sulfonates									
PFBS	4	■	■	■	■	■	■	□	□
PFHxS	6	■	■	□	□	■	■	■	□
PFOS	8	■	■	■	■	■	■	■	■
Per- & Polyfluoroalkyl Ether Replacements									
ADONA	6	■	■	□	□	■	□	□	□
HFPO-DA GenX	6	■	■	■	■	■	■	□	■

☒ Effect reported in one or more laboratory animal study
☐ Effect was evaluated but not found, or effect has not been evaluated

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

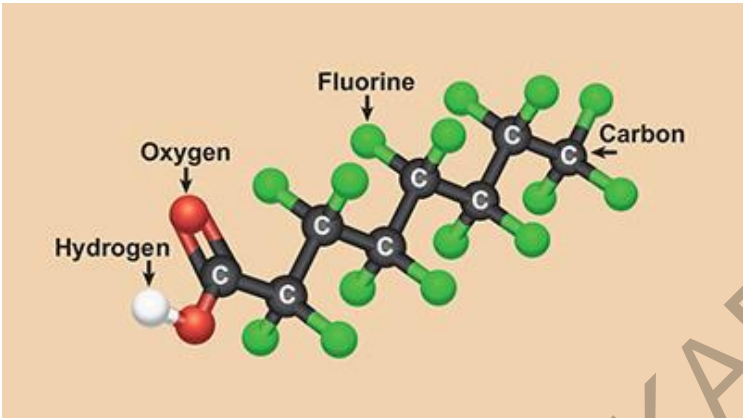
Valeurs de Dose – Effet / VTR: Example ANSES (2017): <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf>

Tableau XVIII : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) des PFAS retenues dans le présent avis.

Composé	n° CAS	Effet critique	Etude clé	Voie d'administration	Point de départ	Ajustement	Facteurs d'incertitude	VTR	Références
PFOS	1763-23-1	Effets hépatiques	Chronique	Orale, alimentation	DSENO 0,021 mg/kg	PBPK 0,0015 mg/kg	25 UF _A : 2,5 UF _H : 10	0,06 µg/kg	Butenhoff <i>et al.</i> (2012b) Santé Canada (2016b)
PFOA	335-67-1	Effets hépatiques	Chronique	Orale, alimentation	DSENO 0,06 mg/kg	PBPK 0,000625 mg/kg	25 UF _A : 2,5 UF _H : 10	0,025 µg/kg	Perkins <i>et al.</i> (2004) Santé Canada (2016a)
PFBS	375-73-5	Hyperplasie tubulaire	2-génération	Orale, gavage	BMD _{10%} L _{95%} 24 mg/kg	Allométrie BMD _{10%} L _{95%} HED 6,06 mg/kg	75 UF _A : 2,5 UF _H : 10 UF _S : 3	0,08 mg/kg	Lieder P.H. <i>et al.</i> (2009a)
PFBA	375-22-4	Effets hépatiques	Subchronique	Orale, gavage	DSENO 6 mg/kg	Allométrie NOAEL _{HED} 1,764 mg/kg	75 UF _A : 2,5 UF _H : 10 UF _S : 3	0,024 mg/kg (VTi ¹⁶)	Butenhoff <i>et al.</i> (2012a)
PFHxS	355-46-4	Effets hépatiques	OCDE 422	Orale, gavage	DSENO 1 mg/kg	Allométrie NOAEL _{HED} 0,289 mg/kg	75 UF _A : 2,5 UF _H : 10 UF _S : 3	0,004 mg/kg (VTi)	Butenhoff <i>et al.</i> (2009a)
PFHxA	307-24-4	Effets rénaux	Chronique	Orale, gavage	DSENO 30 mg/kg	Allométrie NOAEL _{HED} 7,91	25 UF _A : 2,5 UF _H : 10	0,32 mg/kg	Klaunig <i>et al.</i> (2015)
PFPeA	2706-90-3	Read across sur la base du PFHxA - VTi							
PFHpA	375-85-9	Read across sur la base du PFOA - VTi							
6:2 FTSA	27619-97-2	Aucune donnée disponible permettant de construire une VTR chronique par voie orale							
6:2 FTAB	34455-29-3	Aucune donnée disponible permettant de construire une VTR chronique par voie orale							
8:2 FTSA	39108-34-4	Aucune donnée disponible permettant de construire une VTR chronique par voie orale							

VTR : Facteurs d'équivalence de toxicité
Exemple: Wienecke 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*	$0.001 \leq \text{RPF} \leq 0.6$
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
PFTrDA*	$0.3 \leq \text{RPF} \leq 3$
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)

- 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

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
PFNA	NC	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d) ⁻¹	Epidemio	SF	-	New Jersey 2017
		inhalation	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampshire DES 2019
PFDA	NC	oral	Lung, respiratory system	28 ng/m ³	Rate	RfC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2018
		inhalation	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	53 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
		inhalation	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and renal	4,9 µg/m ³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
		inhalation	Hematologic and thyroidal	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	13 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFOS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
		inhalation	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
PFOSA	NC	oral	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m ³	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2016
		inhalation	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	Same than PFOA NOAEL/(81*300)	TCEQ 2016
				4,1 ng/m ³	Rate	RfC	same than PFOA NOAEL/(81*3000)	TCEQ 2016

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 : Utilisation et Limitation des PFAS

- **L'US-EPA & le Canada** ont restreint l'utilisation des PFAS et de certains précurseurs de production.
- **Au sein de l'UE**, les réglementations sont différentes entre les pays, mais l'utilisation du **PFOS** a été réglementée, **seule une teneur maximale de 0,001 % ou 10 mg/kg est autorisée** [Commission Regulation (EU) No. 757/2010 amending Regulation (EC) No. 850/2004], sauf dans les AFFF (3 %).
- **L'UE envisage** également des réglementations strictes concernant le PFOA, qui peuvent également inclure une **interdiction de la plupart des produits par famille des substances contenant des PFAS**, publié par la nouvelle Stratégie de la CE, 14/10/2020 + par une feuille de route de **REACH** du 25/05/2022.
- **L'ECHA** a proposée le 23/02/2022 sur le fondement de la réglementation REACH **l'interdiction de la mise sur le marché, de l'utilisation et de l'exportation de tous les PFAS** dans le mousses anti-incendie.



**REACH: Registration,
Evaluation, Authorization
and Restriction of Chemicals**



- **En France, la loi Climat et Résilience** (L. n° 2021-1104 du 22/08/2021, Art. 46) impose au Gouvernement le dépôt au parlement d'un **Rapport en août 2023 portant sur des pollutions des eaux et des sols par des PFAS et des solutions applicables pour la dépollution.**

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 21/12/2020 sur l'Eau potable, transposé en France par un AM du 26/04/2022 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).
- VTR: Une Dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 4,4 ng/kg/Sem. (ou Dose Journalier Tolérable de (DJT) : 0,63 ng/kg/j pour des PFAS : PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS): EFSA : 17/09/2020 <https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
- En Allemagne des Valeurs limites existent pour les eaux souterraines et de l'eau potable. De plus en plus, les réglementations régionales (Länder) exigent des investigations et des dépollutions systématiques de sites contaminés et la dépollution des eaux souterraines (jusqu'à 0,06 µg/l en PFNA).



Valeurs limites : Exemple : ESO & Eau potable en Allemagne

N°	Polluant PFAS (PFC / PFT)	Synonyme	Eau potable [µg/l]	Eaux souterraines [µg/l]
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	10	-
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	-	3
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	6	-
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	-	0,3
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	0,1	-
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	0,06	-
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	-	0,1
8	Acide perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	6	-
9	Acide perfluoro-hexane-sulfonique	PFHxS	0,1	-
10	Acide perfluoro-heptane-sulfonique	PFHpS	-	0,3
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	0,1	-
12	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	-	0,1
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	-	0,1

EU-Stratégies de Gestion des PFAS dans le Futur (1/2):

- **Facteurs d'équivalence de toxicité sous la forme de RPFs: Relative Potency Factors** deviendraient de plus en plus importants, tout comme les VTR pour les groupes de PFAS afin de gérer un plus grand nombre de polluants, lorsque des données toxicologiques individuelles sont manquantes.
- **La Commission européenne interdira tous les PFAS en tant que groupe dans les mousses anti-incendie ainsi que dans d'autres utilisations**, n'autorisant leur utilisation que là où ils sont essentiels pour la société. La Commission européenne répondra également aux préoccupations concernant les PFAS à l'échelle mondiale par le biais des forums internationaux compétents et dans le cadre de dialogues politiques bilatéraux avec des pays tiers.
- **L'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) élabore un dossier de restriction** pour tous les PFAS dans les mousses anti-incendie. Le dossier est prêt depuis octobre 2021. Les Pays-Bas, le Danemark, l'Allemagne, la Norvège et la Suède ont publié leur intention de préparer un dossier de restriction sur tous les PFAS dans le cadre du règlement REACH. Le dossier est prêt depuis juillet 2022.



EU-Stratégies de Gestion des PFAS dans le Futur (2/2):

- La Commission européenne abordera également les PFAS avec une approche de groupe, dans le cadre de la législation pertinente sur l'eau, les produits durables, l'alimentation, les émissions industrielles et les déchets. Ceci comprend:
- l'établissant des lignes Directrices techniques sur les méthodes d'analyse pour la mesure du "PFAS total" et des groupes de PFAS dans le cadre de la directive sur l'eau potable,
- fixant des valeurs limites pour les PFAS dans le cadre de la Directive sur les eaux souterraines, de la directive sur les normes de qualité environnementale et du règlement sur les contaminants alimentaires,
- traiter les émissions et déclarer les PFAS dans le cadre de la Directive sur les émissions industrielles (IED) et du registre européen des rejets et transferts de polluants.
- La Commission Européenne fournira un soutien financier dans le cadre de programmes de recherche et d'innovation pour identifier et développer des méthodologies innovantes pour remédier à la contamination par les PFAS dans l'environnement et financer des innovations sûres pour remplacer les PFAS dans les produits.
- La Commission a lancé un appel à propositions dans le cadre du « Green Deal » axé sur la remédiation de la contamination par des produits chimiques persistants et mobiles (y compris les PFAS).
- Selon la Directive 2020/2184/UE du 21/12/2020 sur l'Eau potable en 2026 des valeurs limites dans les eaux sont prévus pour la somme de 20 PFAS: 0,1 µg/l et pour l'ensemble des PFAS: 0,5 µg/l (à transposer en France le 12/01/2023).



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**
- **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.)**

Investigations sur site: Sols, Gaz du sol & Eaux souterraines



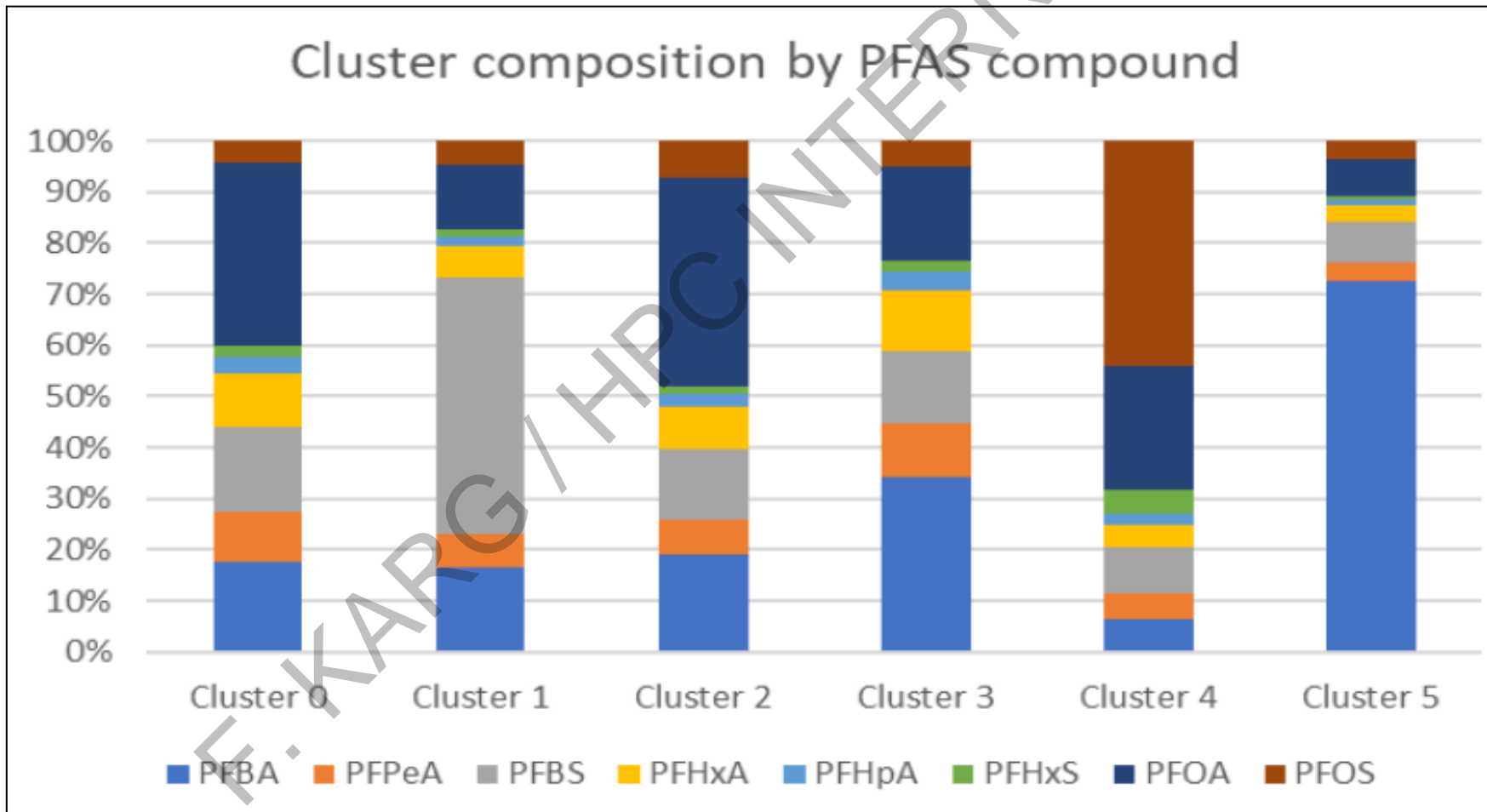
Paramètres pour les Analyses des PFAS recommandés :

N°	PFAS Type	Synonym	Existent Toxicologic Dose-effect Values
1	Perfluoro-butanonic acid	PFBA	Yes
2	Perfluoro-pentanonic acid	PFPeA	Yes
3	Perfluoro-hexanonic acid	PFHxA	Yes
4	Perfluoro-heptanonic acid	PFHpA	Yes
5	Perfluoro-octanonic acid	PFOA	Yes
6	Perfluoro-nonanonic acid	PFNA	Yes
7	Perfluoro-decanonic acid	PFDA	Yes
8	Perfluoro-butane-sulfonic acid	PFBSA	Yes
9	Perfluoro-hexane-sulfonic acid	PFHxS	Yes
10	Perfluoro-heptane-sulfonic acid	PFHpS	Yes
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	Yes
12	H4-polyfluoro-octane-sulfonic acid	H4-PFOS	Associated to PFOS
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	Yes
14	6:2 Fluorotelomere alcohol	6:2-FTOH	Yes
15	8:2 Fluorotelomere alcohol	8:2-FTOH	Yes

N°	PFAS Type	Synonyme	Existant Toxicological Dose-effect Values
16	Perfluorobutane sulfonate	PFBS	Yes
17	Perfluoropentane sulfonate	PFPeS	Yes
18	Perfluorohexane sulfonate	PFHxS	Yes
19	Perfluoroheptane sulfonate	PFHpS	Yes
20	Perfluorodecane sulfonate	PFDS	Yes
21	Perfluoro-undecanonic acid	PFUnDA	Yes
22	Perfluoro-dodecanonic acid	PFDoDA	Yes
23	Perfluoro-tridecanonic acid	PFTrDA	Yes
24	Perfluoro-tetradecanonic acid	PFTeDA	Yes
25	Perfluoro-hexadecanonic acid	PFHxDA	Yes
26	Perfluoro-octadecanonic	PFODA	Yes
27	Hexafluoro-propyleneoxydimer acid	HFPO-DA	Yes
28	3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy) propanonic acid	ADONA	Yes
29	Capstone A & B	6:2 FTAB	No
30	6:2 Fluortelomer sulfonic acid	6:2 FTS	No

Investigations et évaluations des risques :

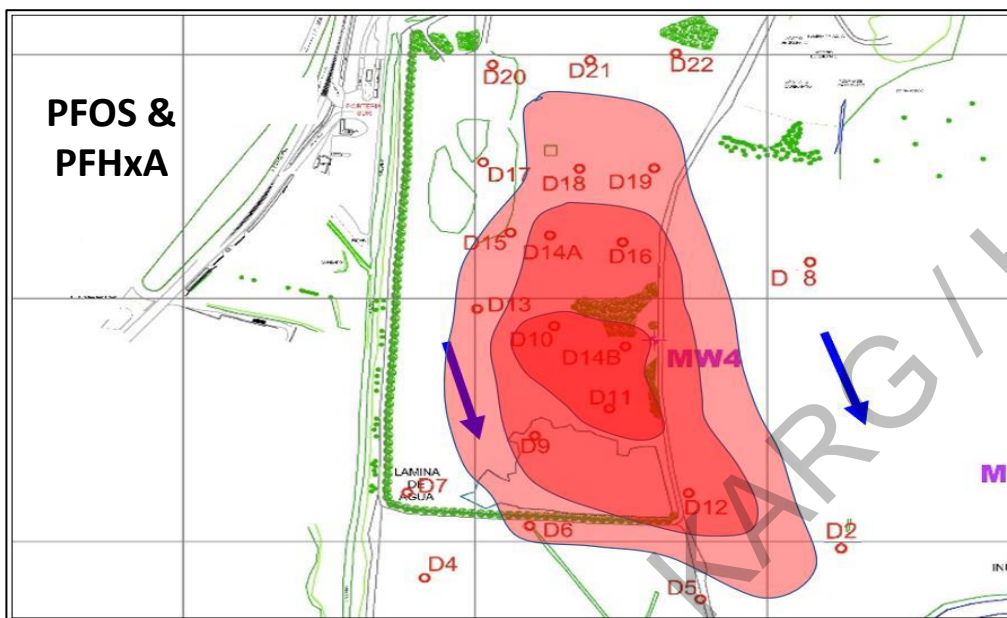
Des analyses des **Cluster PFAS** pourront **identifier les origines** industriels ou des produits ayant provoqués les pollutions environnementales par les PFAS



Evaluation des Risques:

□ **Definition des CMA: Concentrations
Maximales Admissibles :**
Eaux souterraines

Example Site “N” en Allemagne > CMA

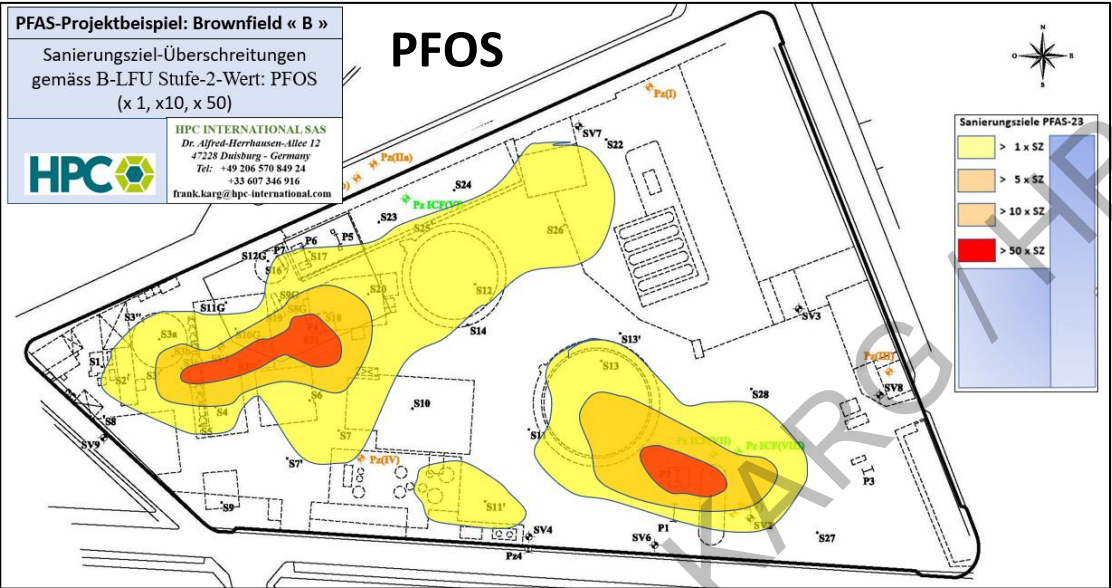


PFAS Substance	GW max. Concentration Site « N »	SS-RG: Site Specific Remediation Goals			
		Residential without GW use	Residential GW use for green space	Residential GW use for individual gardens	GW use in Gardens and bathing
		Exposure Pathways →	Inhalation of PFAS with Water Vapors	Inhalation of PFAS with Water Vapors & Skin contact	Inhalation of PFAS with Water Vapors & Skin contact and vegetable & GW consumption
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
PFBA	0,015	447 ⁽¹⁾	447 ⁽¹⁾ (45 000)	447 ⁽¹⁾ (40 000)	10 (7) ⁽²⁾
PFPeA	0,031	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾
PFHxA	0,190	180 000	75 000	70 000	8
PFHpA	0,036	7	6	5	0,3 (0,06) ⁽²⁾
PFOA	0,350	0,15	0,14	0,12	0,1 ⁽²⁾ (0,03)
PFNA	<0,010	62,5 ⁽¹⁾	15	10	0,06 ⁽²⁾ (0,006)
PFDA	<0,010	4,270 ^(*)	7,5	7	0,1 ⁽²⁾ (0,03)
PFBS	0,120	6 ⁽²⁾	6 ⁽²⁾	6 ⁽²⁾	6 ⁽²⁾
PFHxS	6,90	243 ⁽¹⁾	243 ⁽¹⁾ (20 000)	243 ⁽¹⁾ (15 000)	7
PFHpS	0,530	0,3 ⁽²⁾	0,3 ⁽²⁾	0,3 ⁽²⁾	0,3 ⁽²⁾
PFOS	6,40	300	25	20	0,1 ⁽²⁾ (0,004)
PFOSA	<0,010	0,1 ⁽²⁾ (0,024)	0,1 ⁽²⁾ (0,023)	0,1 ⁽²⁾ (0,022)	0,1 ⁽²⁾ (0,02)

Evaluation des Risques : Sols

□ Définition et cartographie des CMA: Conc.
Max. Admissible pour les Sols et les Lixiviats

Example Site “F” en Allemagne



Substance	SS-RG (Site Specific Remediation Goals)				Bayern Stufe 1 + BW (GFS)* (2017)	Bayern Stufe 2 LFU
	Industrial use with 30 cm coverage		Industrial use without any coverage			
	Exposure Pathway: Inhalation of Soil vapor		Exposure Pathway: Inhalation of Soil vapor & Contact to Soil and Dust			
	Soil	Leachate	Soil	Leachate	Leachate	Leachate
	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/l	mg/l
PFBA	1 000 ⁽¹⁾	0,355	800	0,355	0,01	0,004
PFPeA	-	0,012 ²⁾	-	0,012 ²⁾	0,003	0,012
PFHxA	600	3 980	300	1 990	0,006	0,024
PFHpA	0,000025	0,001 ²⁾ (0,00011)	0,00002	0,001 ²⁾ (0,000088)	0,0003	0,001
PFOA	0,000002	0,0004 ²⁾ (0,0000035)	0,0000015	0,0004 ²⁾ (0,0000027)	0,0001	0,0004
PFNA	1 000 ¹⁾	0,0496	0,8	0,0496	0,00006	0,00025
PFDA	1 000 ¹⁾	0,00339	4	0,00339	0,0001	0,0004
PFBS	-	0,024 ¹⁾	-	0,024 ¹⁾	0,006	0,024
PFHxS	1 000 ¹⁾	0,193	200	0,193	0,0001	0,0004
PFHpS	-	0,001 ¹⁾	-	0,001 ¹⁾	0,0003	0,001
PFOS	0,003	0,0197	0,002	0,0131	0,0001 0,00023	0,0004
H ₄ PFOS	-	0,0004 ¹⁾ 0,0004 ¹⁾	-	0,0004 ¹⁾	0,0001	0,0004
PFOSA	0,000006	(0,0000007)	0,000005	0,0004 ¹⁾ (0,0000006)	0,0001	0,0004

(1) Limiting at Water Solubility (2) Limiting on German Screening Levels (Stufe 2)

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



Exemples de technologies de traitement (Eso & Lixiviats):

ESO & Lixiviants des lavages des sols: Adsorption Polymers protéiniques & RemBind (Kaolinites, Acides Humiques), Coagulation chimique via $\text{Al}(\text{OH})_x$ (in- & ex-situ): SENSATEC

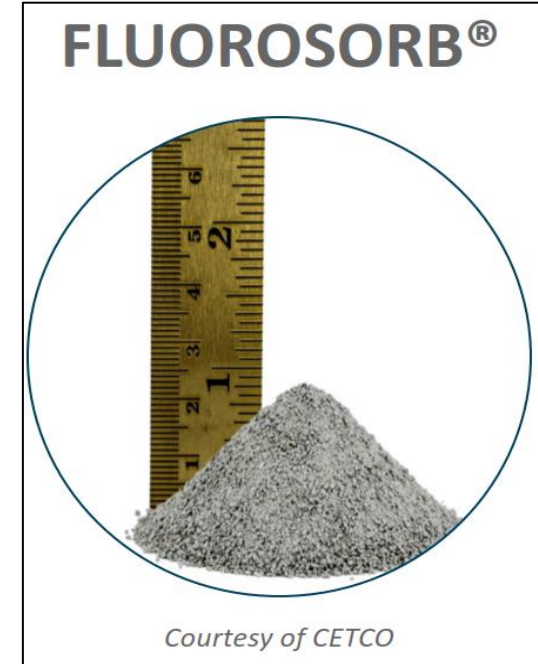
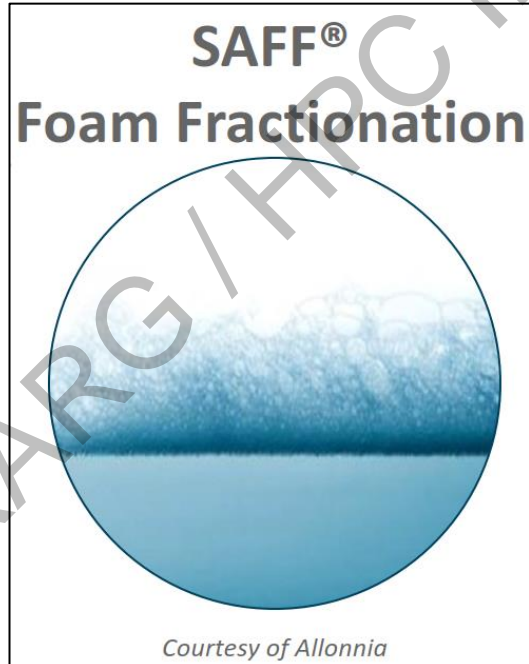


➤ Adsorption sur
Charbon Actif liquide
(in & ex-situ):
Regnesis + Others

➤ Concentrations
via air/water Inter-
face Foam (ex-situ):
ALLONIA

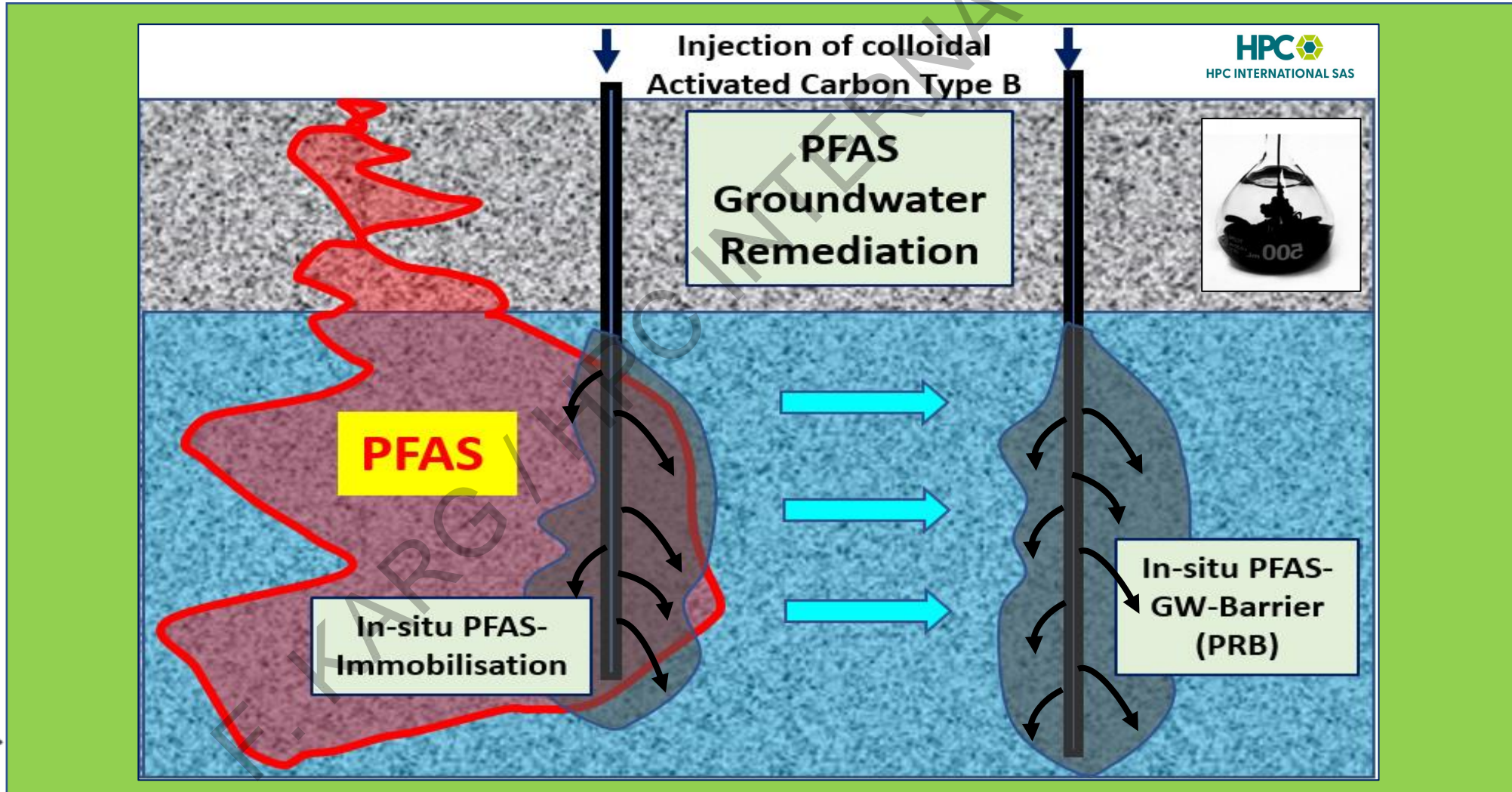
➤ Concentrations
via Floculants bio-
dégradables :ex-situ
Cornelsen/TRS

➤ Argiles modifiés
Adsorbés (ex-situ):
CETCO
& ETEC2

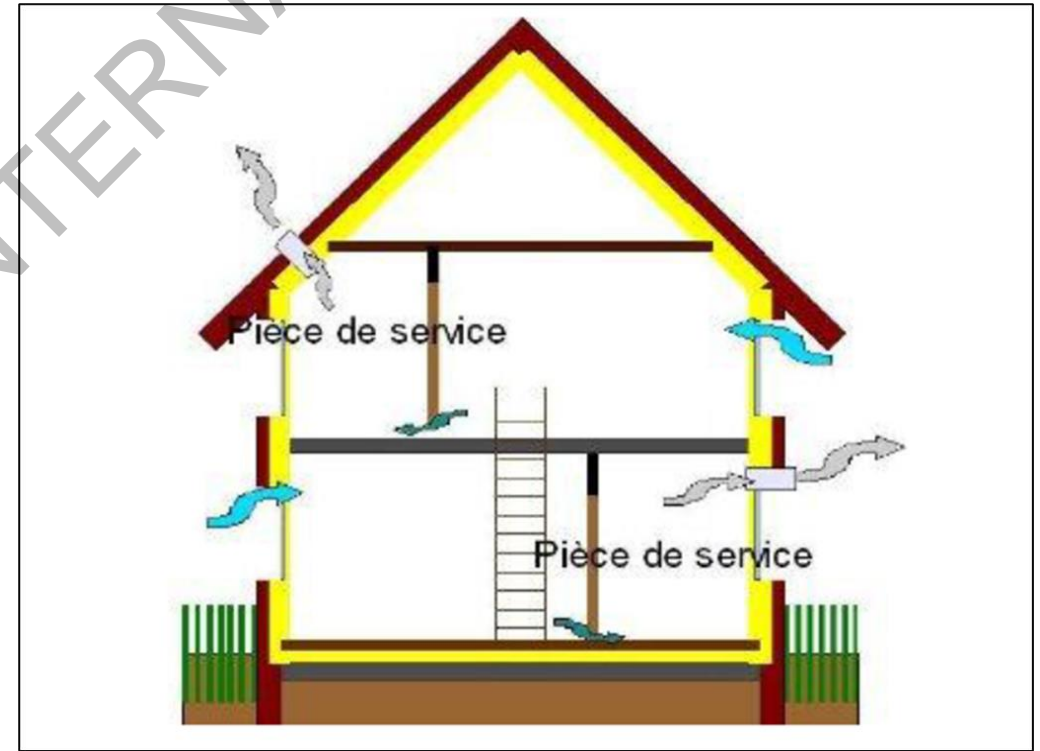
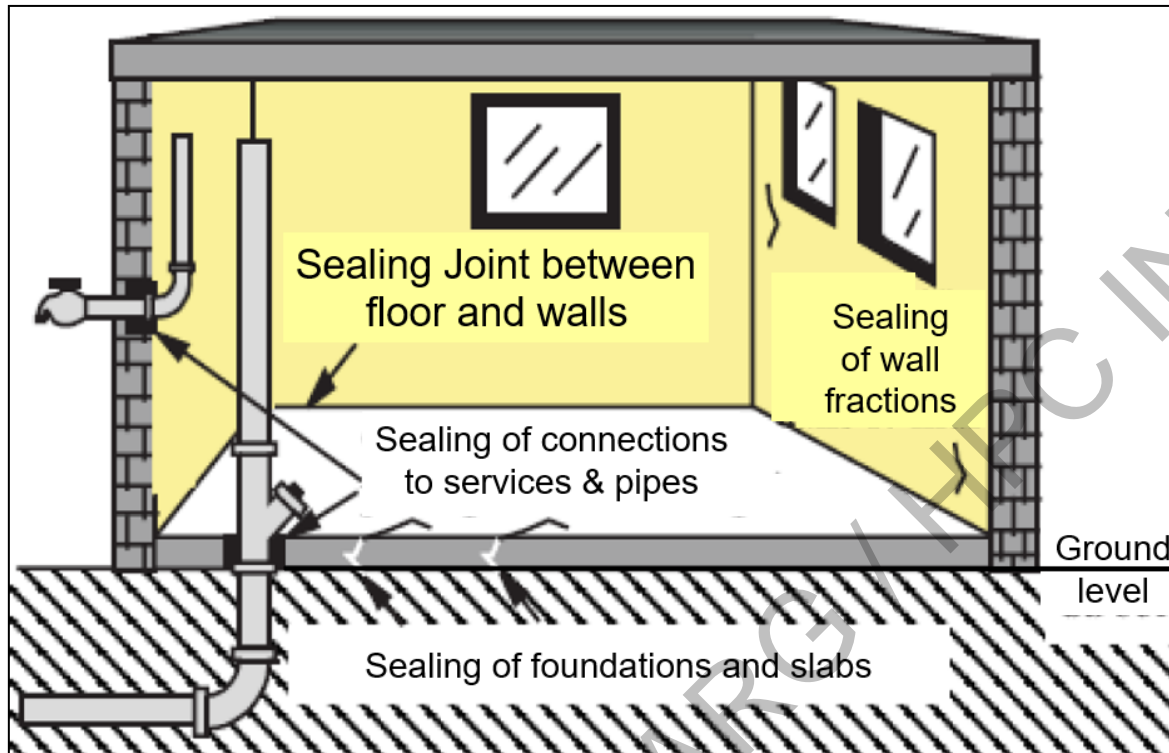


Épollution in-situ :

➤ Immobilization in-situ via Charbon Actif Colloidal



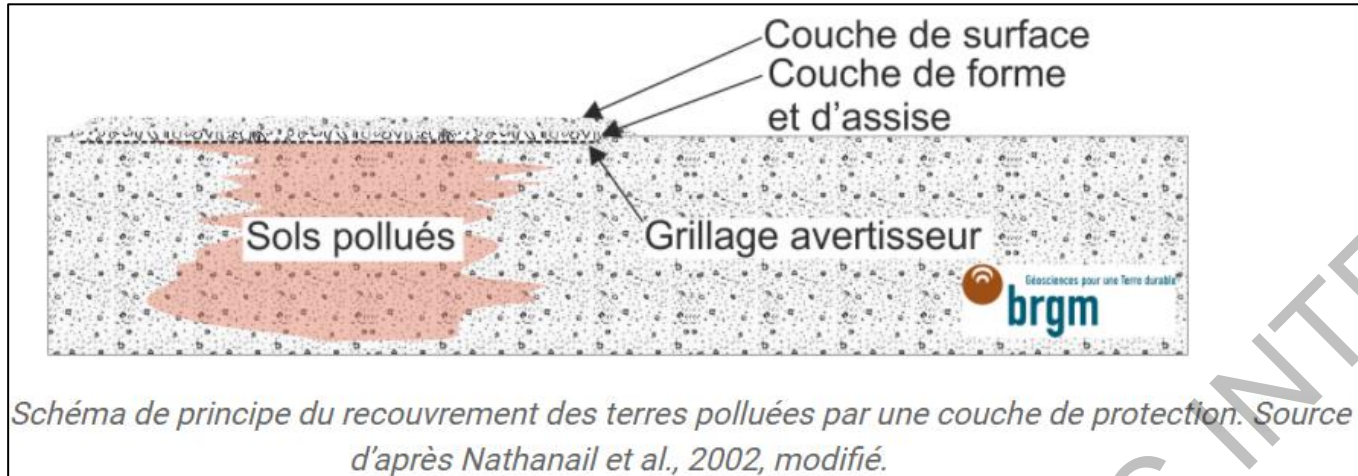
Mesures constructives de protection de l'Air Ambiant contre les Gaz du Sol (FTOH, COHV, etc.): Etanchéifications, Ventilations, Extractions



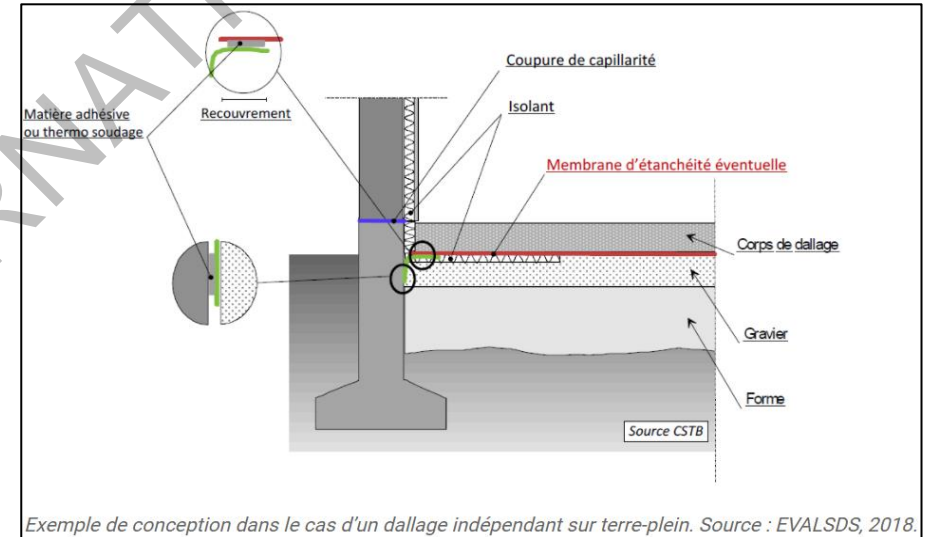
(ROBE & BRGM 2014)

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

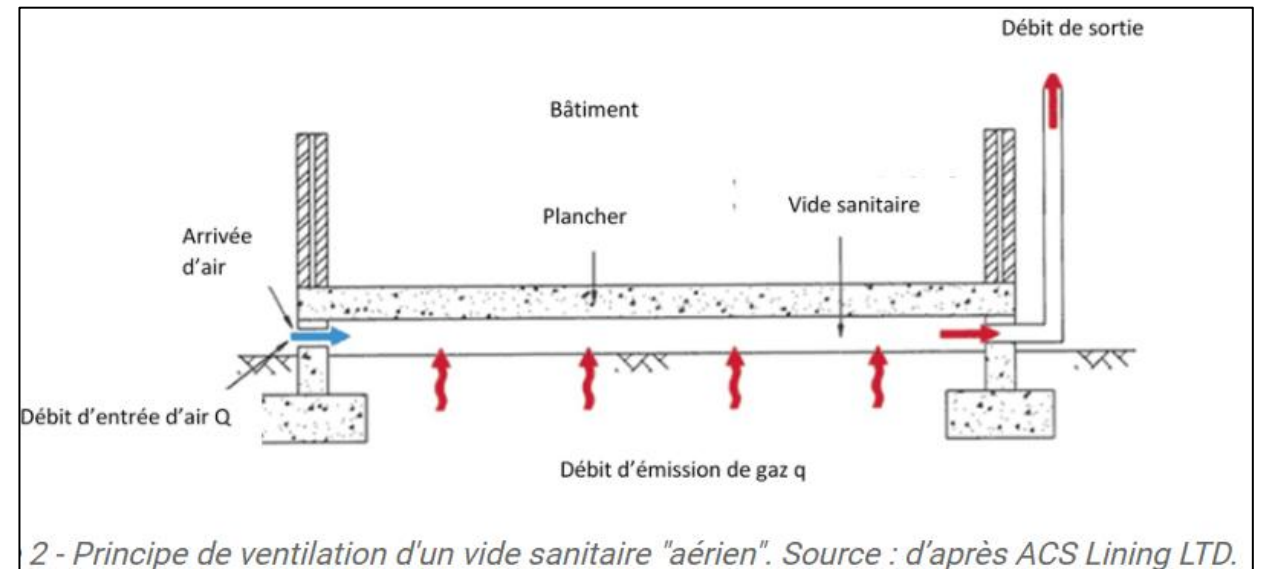
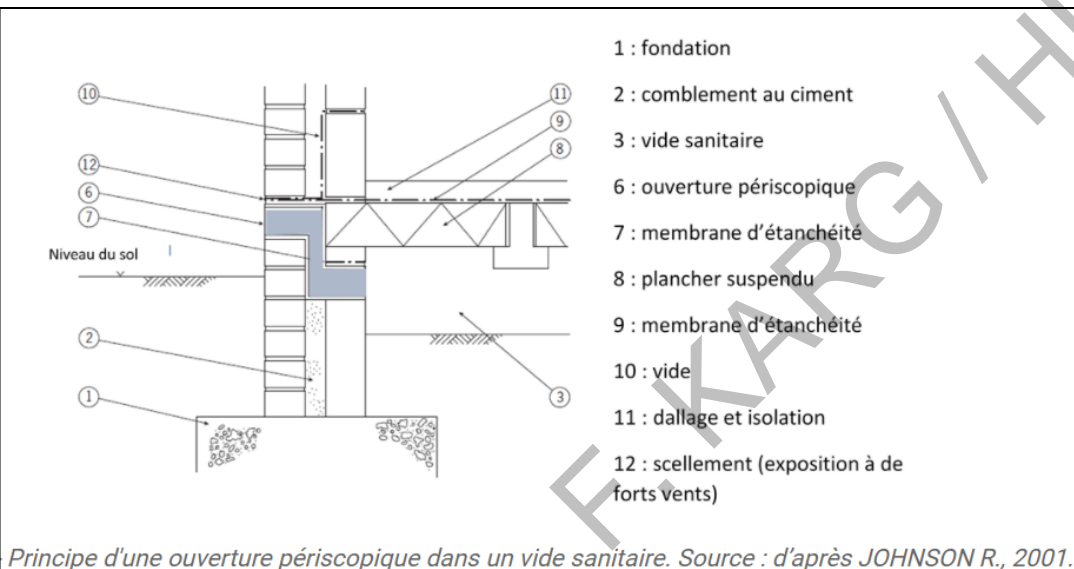
Recouvrement simplifié par couches sous servitude (terre végétale, bitume, béton, bâtiment, etc.)



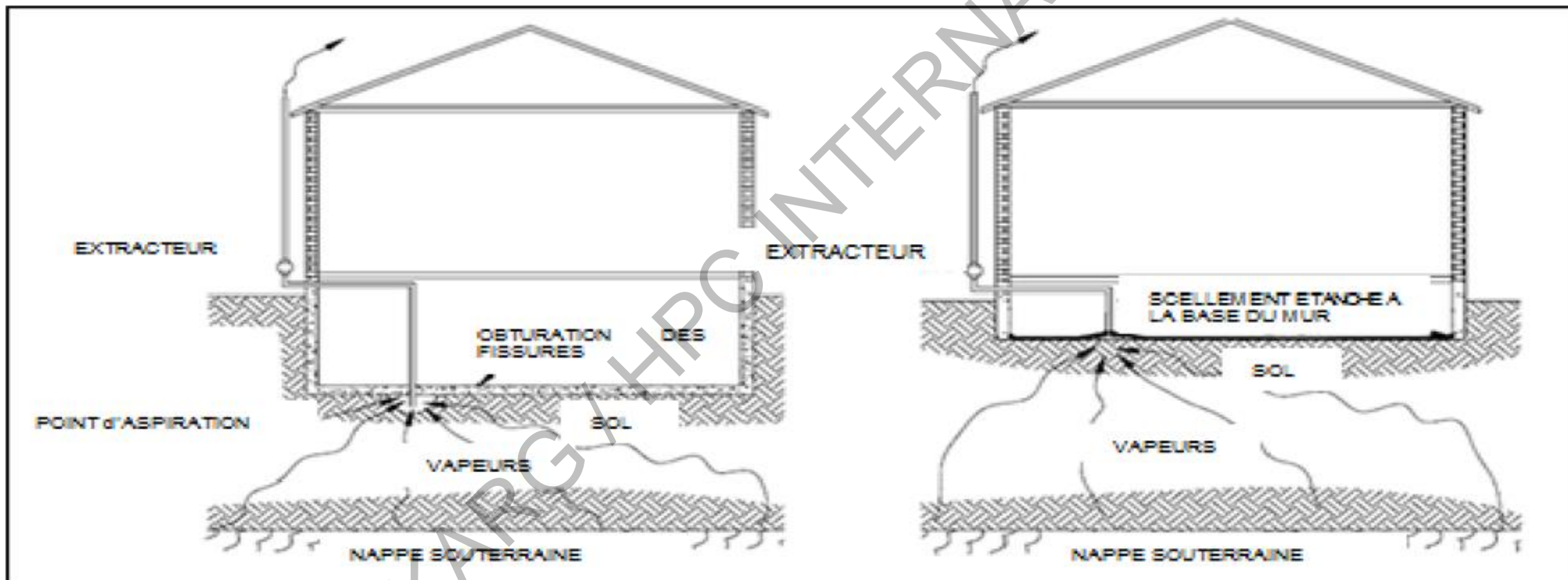
Etanchéifications de dalle béton



Vides sanitaires ventilés contre des polluants volatils



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

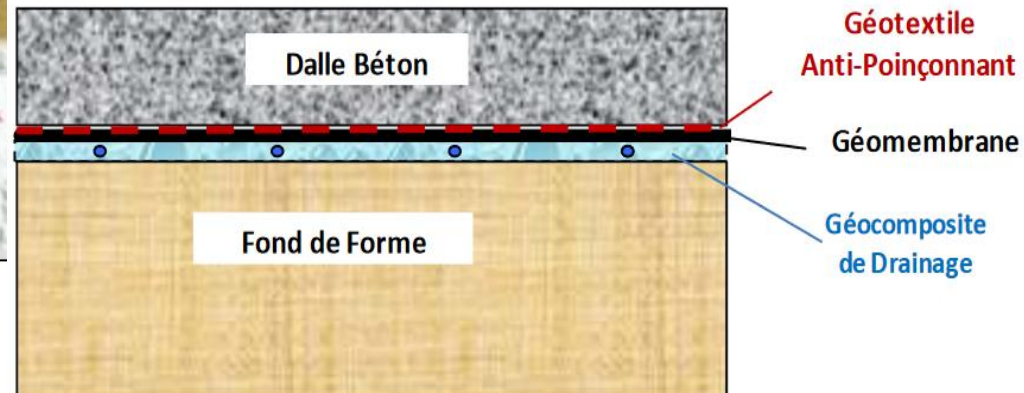
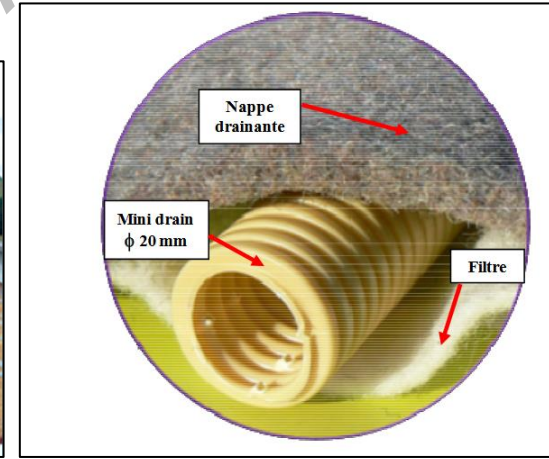
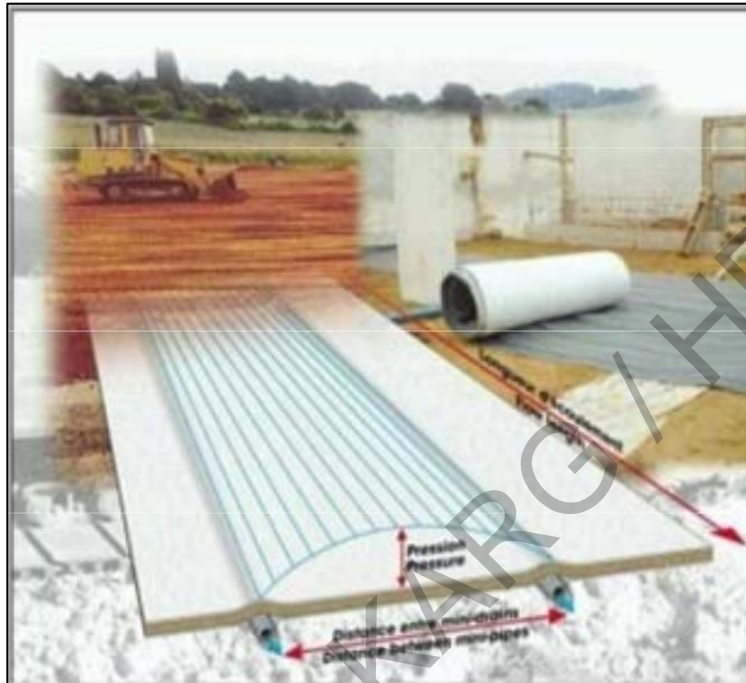


Et. des fondations

Dans le cas des dépassements des CMA et en Prévention

→ II. Mesures constructives: Drainages des Gaz

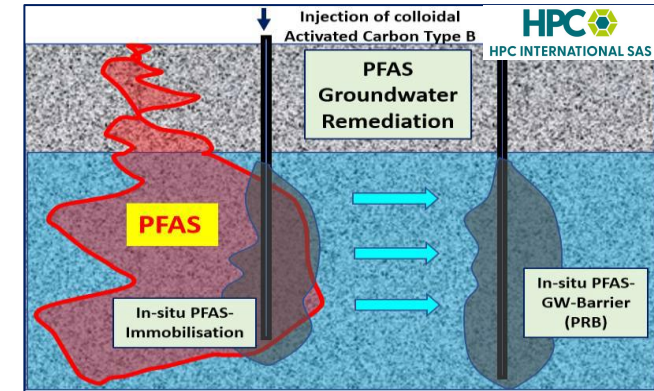
Drainages des Gaz sous Géotextiles



Conclusion :

Contact: frank.karg@hpc-international.com

- 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 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 !
- Des analyses chimiques existent principalement pour les acides perfluoro-alkane carboxyliques et les acides sulfoniques.
- Les eaux souterraines sont immédiatement affectées (y compris l'eau potable et l'Air ambiant via les Gaz du Sol)
- Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économique. Les solution de protection contre les Gaz du Sol existent.



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

