



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

Etudes des cas des différences très significatives de la lixivibilité des PFAS per- & poly-fluorés dans les sols et leur solubilisation vers les eaux souterraines.

Case studies of very large Leachability Differences concerning per- & poly-fluorinated PFAS in soils and their Solubilization in Groundwaters

Frank KARG (Dr. rer. nat. / es Sc. / PhD)

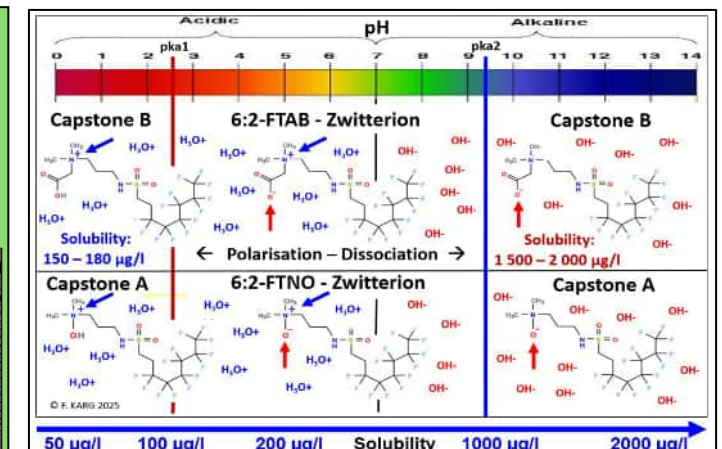
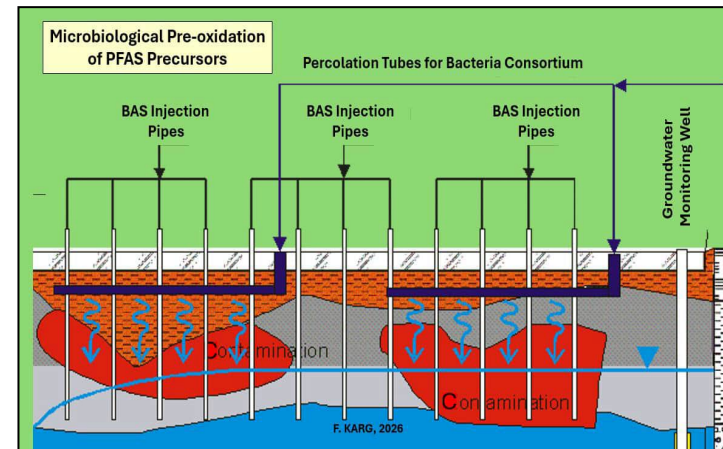
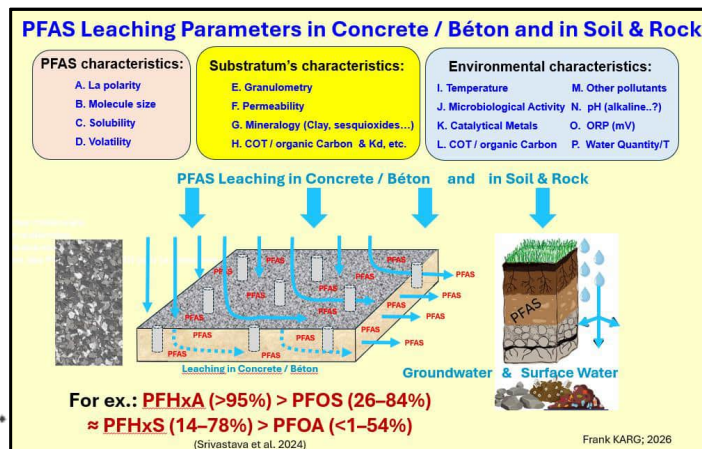
Scientific Director of GINGER Group (HPC International)¹ &

President – CEO of ATLANTIS Développement SAS² – Sworn Court Expert (France)

¹Medical Center Perharidy, 29680 Roscoff, France & Dr. Alfred-Herrhausen-Allee 12, 47228 Duisburg, Germany

² ATLANTIS Développement SAS / 17, rue Edouard Corbière, 29 6809 Roscoff

frank.karg@hpc-international.com & frank.karg@atlantis-dd.com / Phone: +33 607 346 916 & +33 620 401 446



PFAS Leaching Parameters in Concrete / Béton and in Soil & Rock

PFAS characteristics:

- A. La polarité
- B. Molecule size
- C. Solubility
- D. Volatility

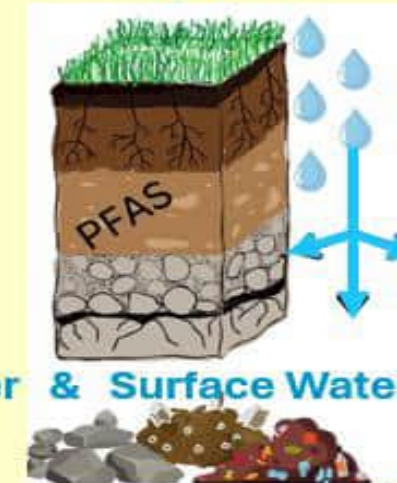
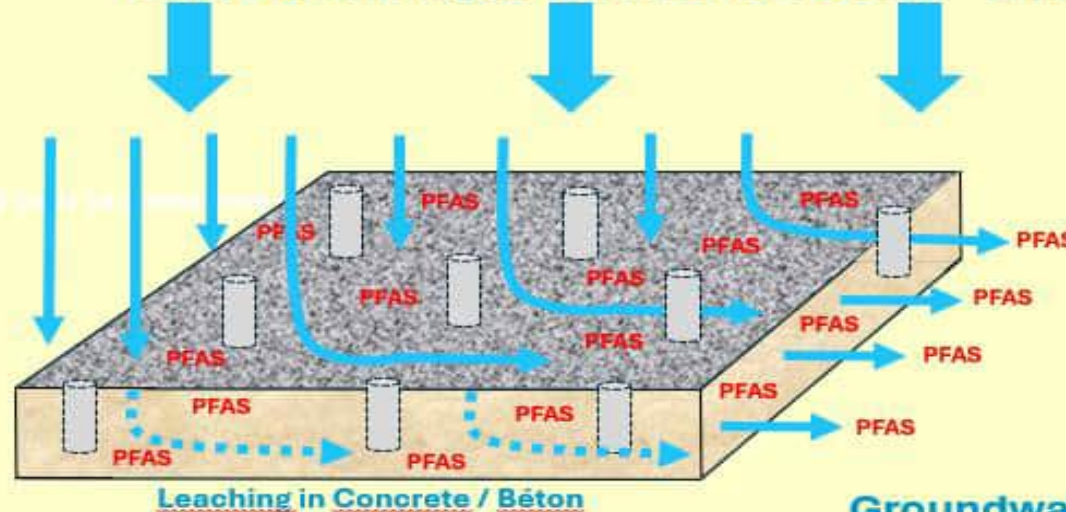
Substratum's characteristics:

- E. Granulometry
- F. Permeability
- G. Mineralogy (Clay, sesquioxides...)
- H. COT / organic Carbon & Kd, etc.

Environmental characteristics:

- I. Temperature
- J. Microbiological Activity
- K. Catalytical Metals
- L. COT / organic Carbon
- M. Other pollutants
- N. pH (alkaline..?)
- O. ORP (mV)
- P. Water Quantity/T

PFAS Leaching in Concrete / Béton and in Soil & Rock



For ex.: **PFHxA** (>95%) > **PFOS** (26–84%)
 ≈ **PFHxS** (14–78%) > **PFOA** (<1–54%)

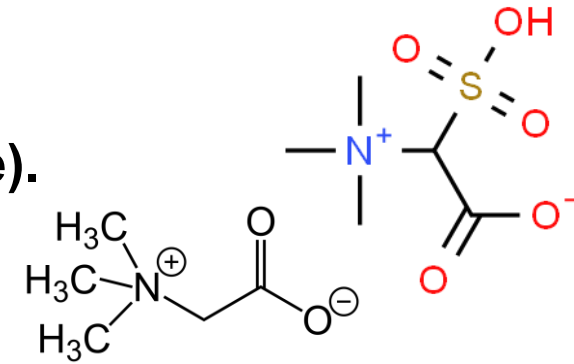
(Srivastava et al. 2024)

Frank KARG; 2026

PFAS comprennent une gamme diversifiée de groupes hydrophiles,

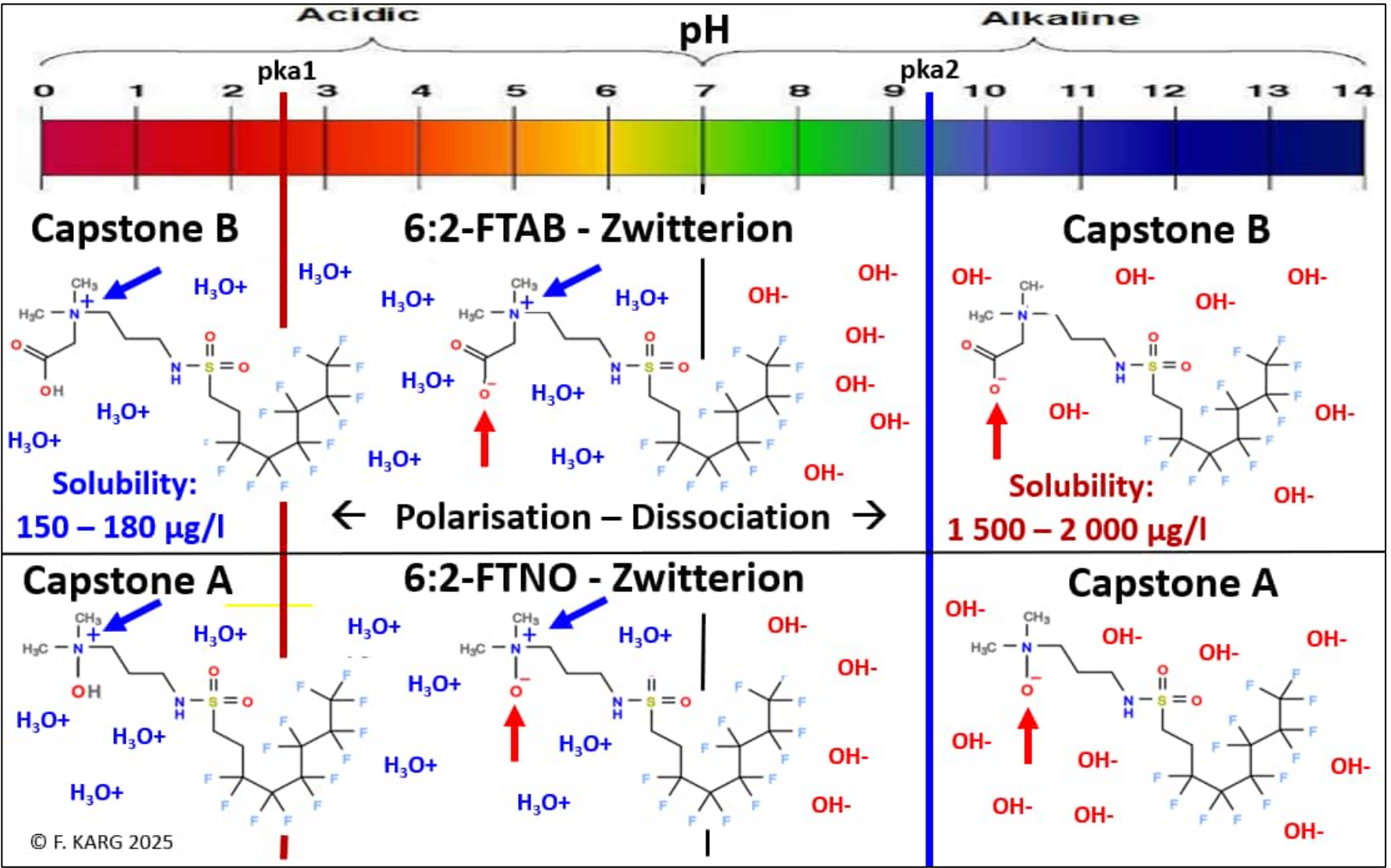
→ ce qui explique leur forte solubilité:

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



→ **Les produits commerciaux** contiennent principalement **des mélanges**.

→ **Les fluoro-télomères à longue chaîne** ($> C_8$) utilisés comme substituts du PFOS (interdit) et du PFOA sont transformés en PFOA dans le sous-sol.
Les PFAS de chaîne courte ($< C_6$) ne peuvent pas être transformés en PFOA ou en PFOS.



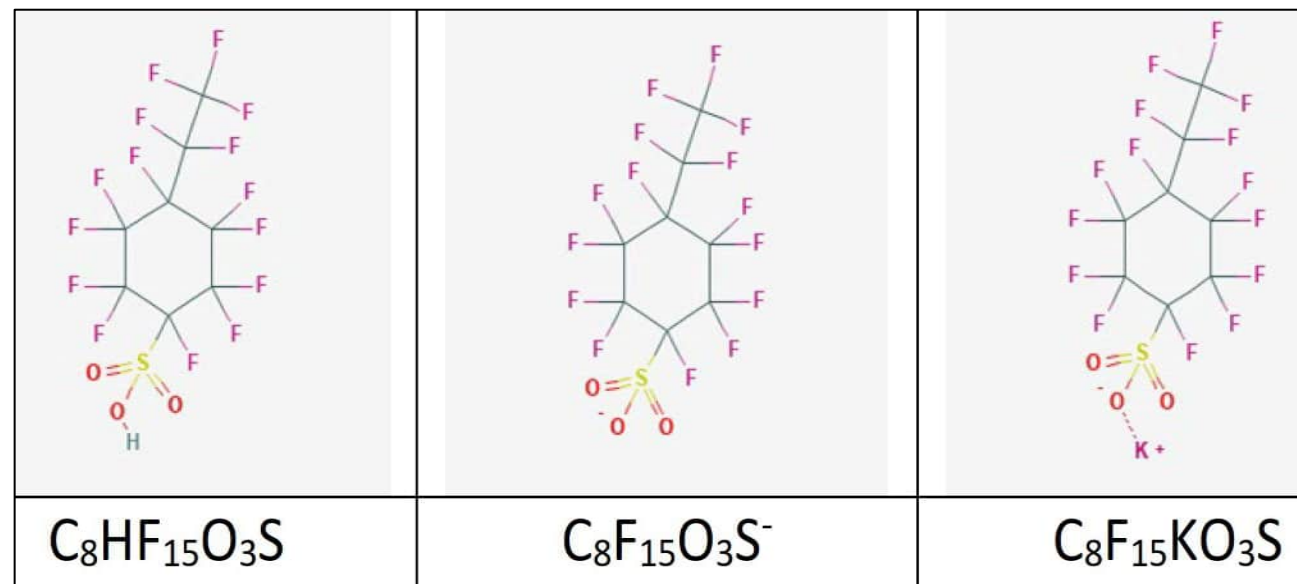
Environmental Chemistry according pH of Capstone A & B

Solubilization & Evaporation reinforced in alkaline conditions

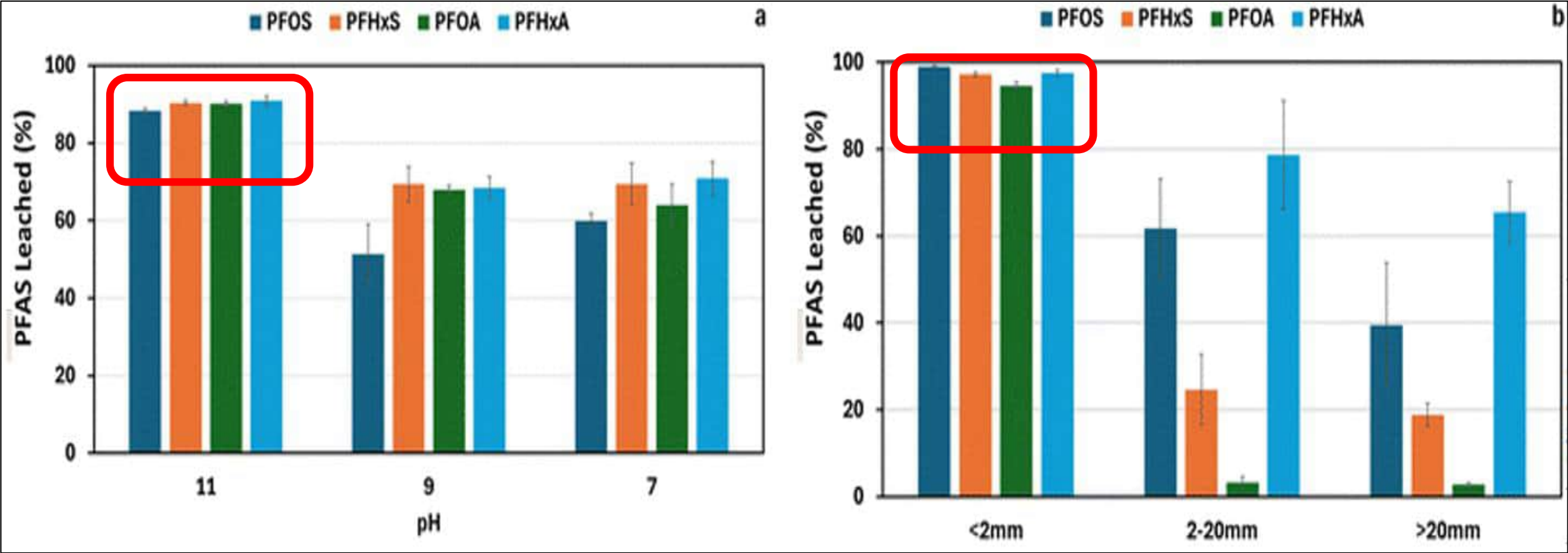
Biotransformation via FTOHs reinforced in aerobic conditions

PFECHS : Lixiviabilité / Leachability

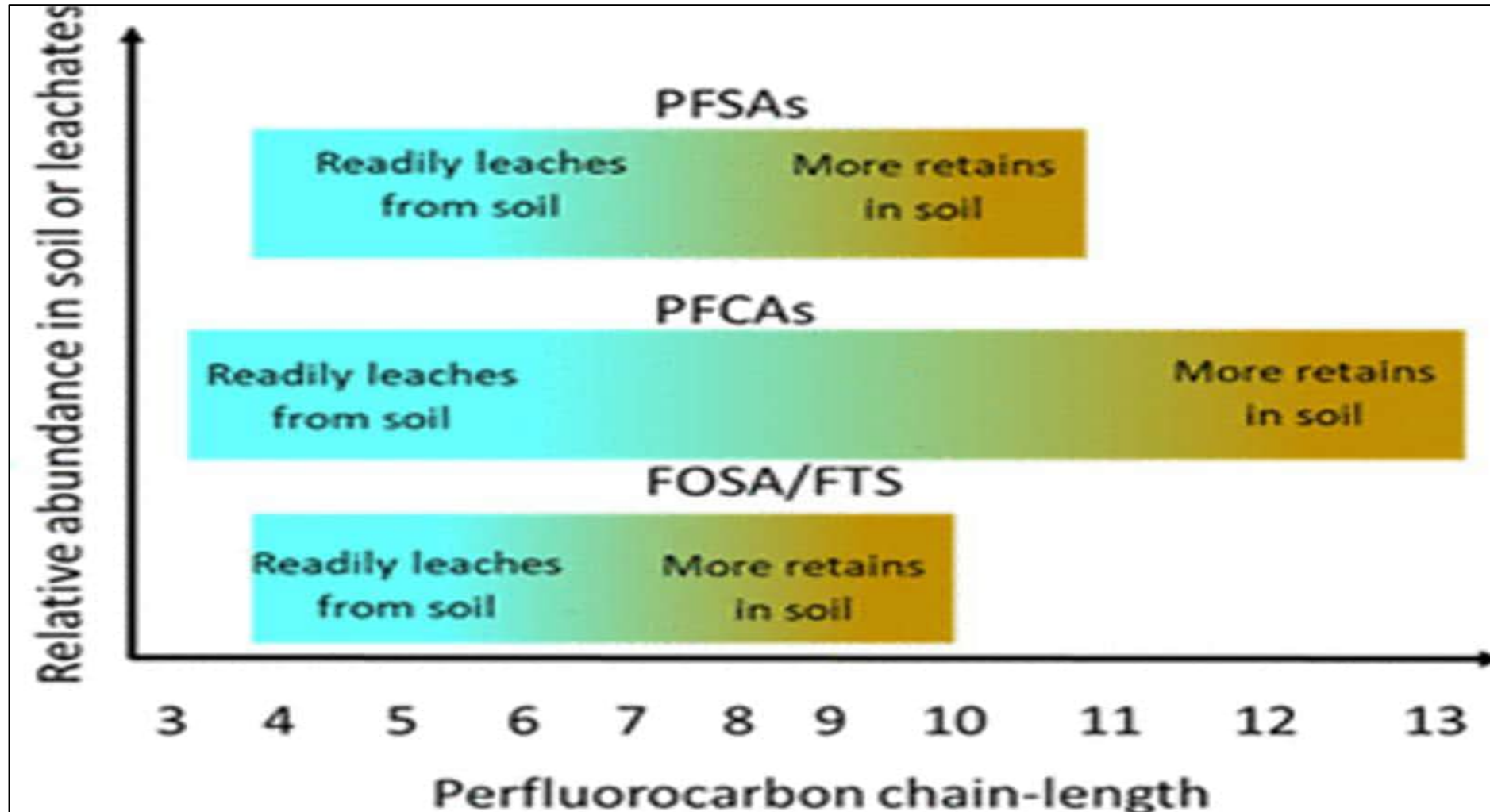
- Les **formes dissociées et sels** ont une certaine solubilité, probablement trop forte pour une extraction organique, pour cette raison des extractions en pH acides (pH5) & alcalin (pH9) sont recommandés avant l'analyse chimique.
- Une trop grande polarité des spéciations
- chimiques de **PFECHS** (Sulfonate de
- perfluoroéthyle-cyclohexane) pourra provoquer aussi des effets d'adsorptions sur des matrices organiques (polymères, acides humiques et fulviques), sesquioxydes et minéraux argileux, difficilement réversibles en pH neutres (pH7 +/-1,5).
- Des analyses chimiques en pH5 et pH9 sont à recommander.



Dépendance de la lixiviation et de l'élution des PFAS selon le pH et la granulométrie des substratums (selon Srivastava: 2024).



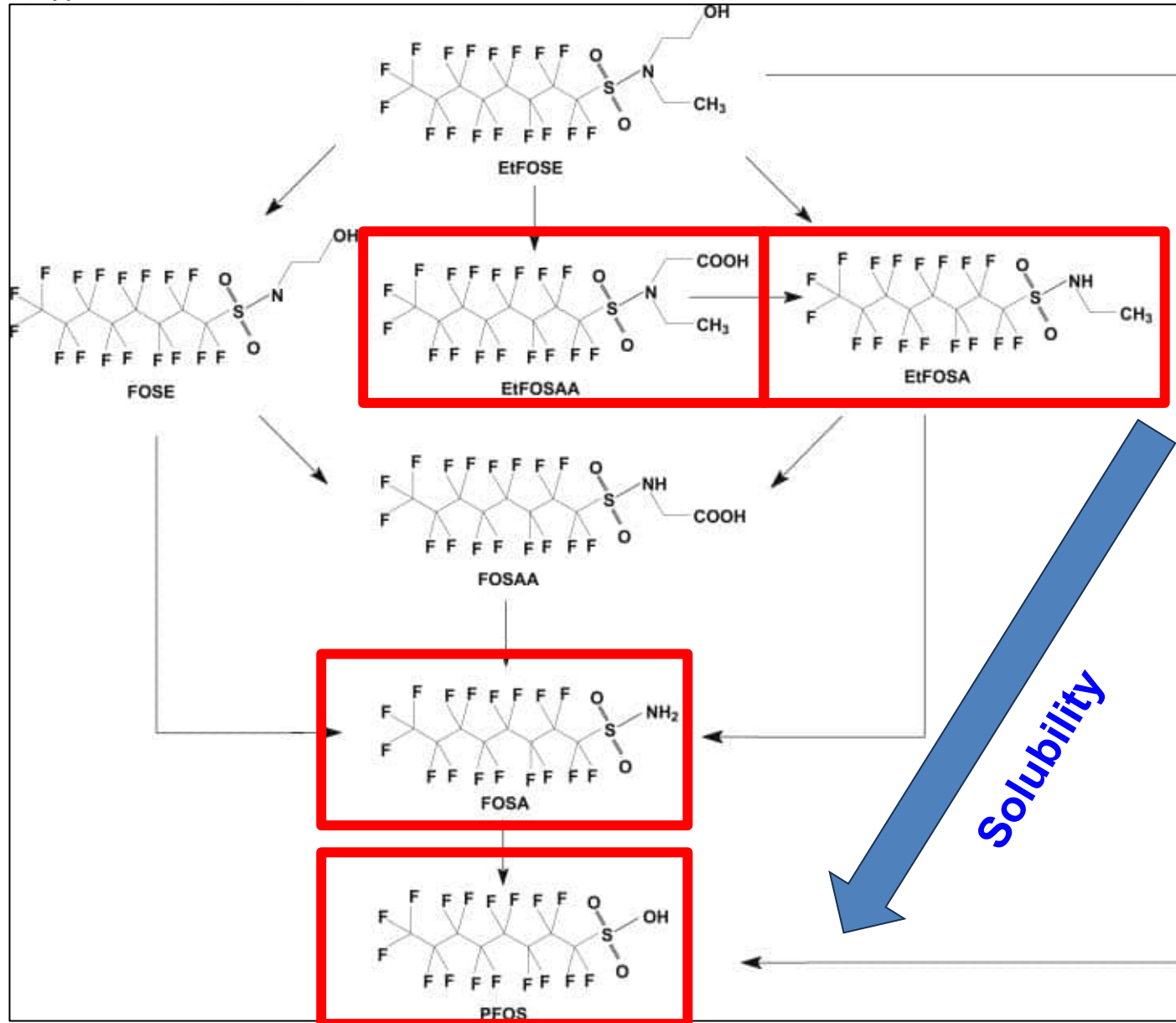
Dépendance de la lixiviation et de l'élution des PFAS selon la taille des molécules PFAS (en xC) (selon Douglas 2026).



Influence of Surfactants on Remobilization (& Push & Pull) & Biotreatments: Flushing & Washing: **GINGER**

- PFCAs required 95 % (water) and 5 % solvents ($\leq C9$)
- Long-chain PFCAs ($\geq C10$) & PFSA's required 80 % solvents for optimal extraction, with efficiency in the order of EtOH \leq MeOH < Acetonitrile (ACN) or N-octanoyl-cysteine or HPCD: Hydroxypropyl-beta-cyclodextrin (R. Napoli, 2025), <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6635>, Ivey-sol®, etc. suggesting a strong correlation with carbon chain lengths and functional head groups (L. Wenjiao, 2024)





PFAS: Chimie environnementale

**Bio-transformation
du EtFOSE, EtFOSA &
FOSA vers PFOS**

W. Zhang et al. 2021
S. Chen et al. 2021

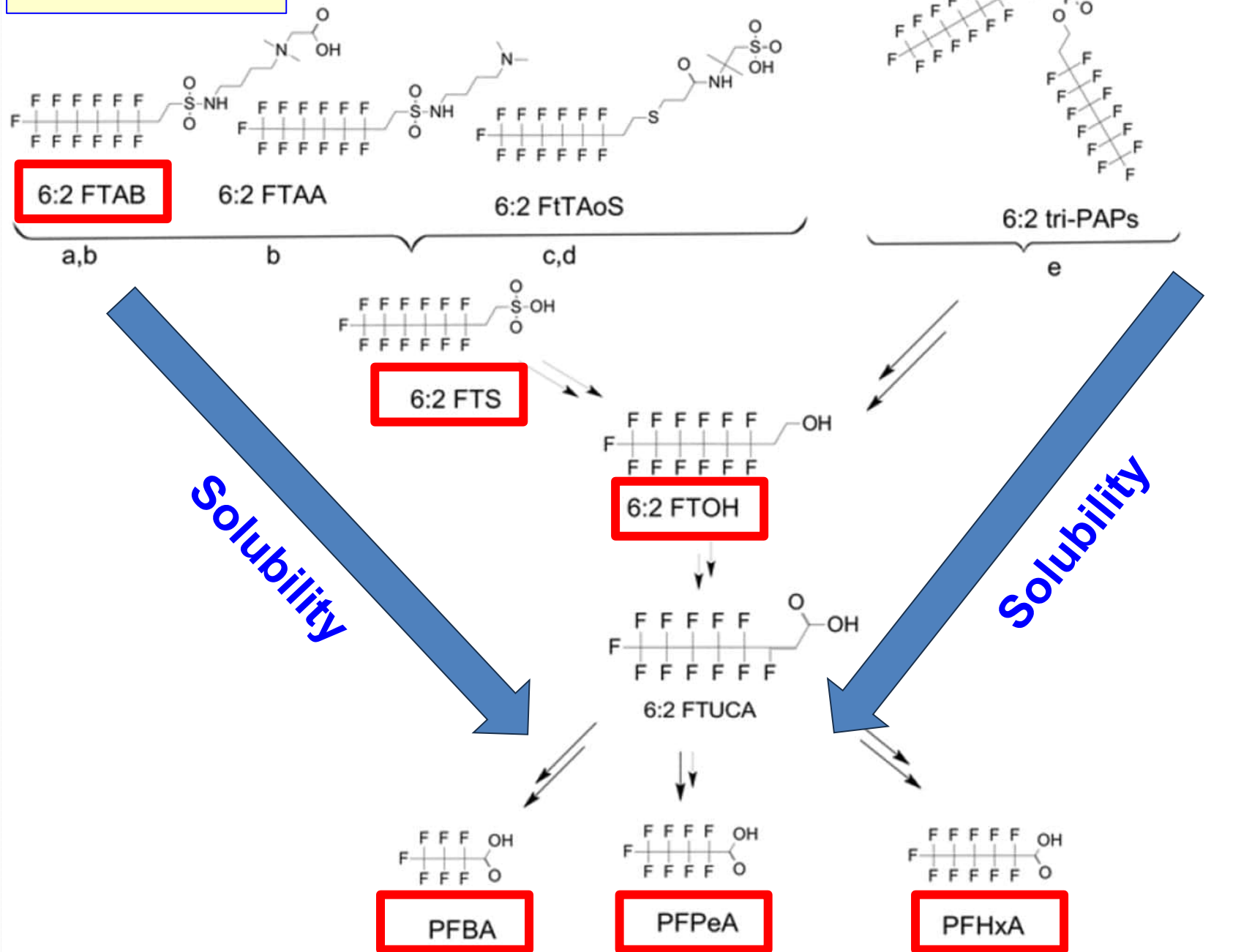
Scotchban FC 807 :

= 100 % (N-)EtFOSAA + (N-)EtFOSA

**Impregnation des papiers, cartons et
des textiles**

PFOS

6:2-FTAB



per- & poly-
waters



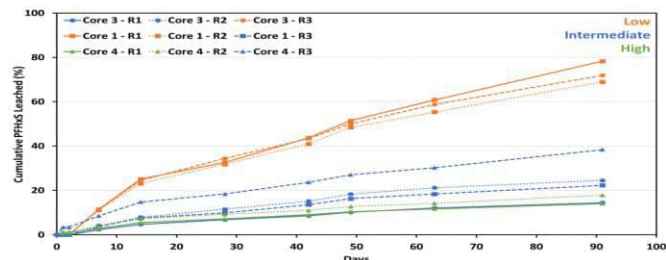
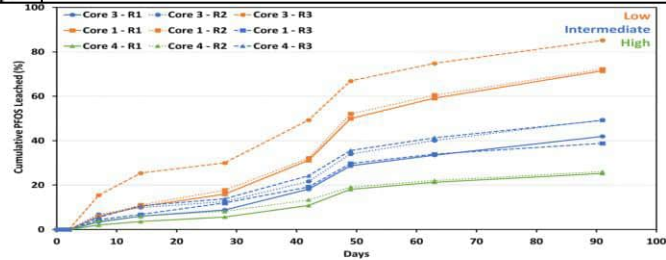
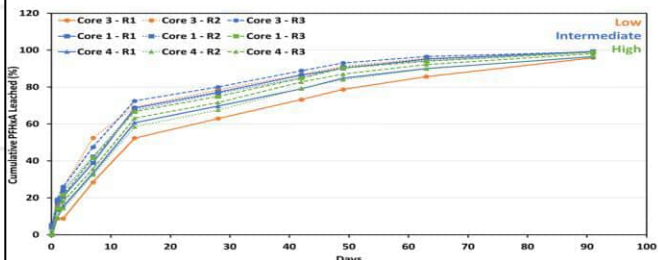
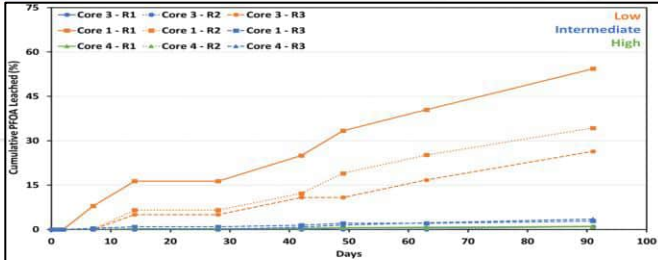
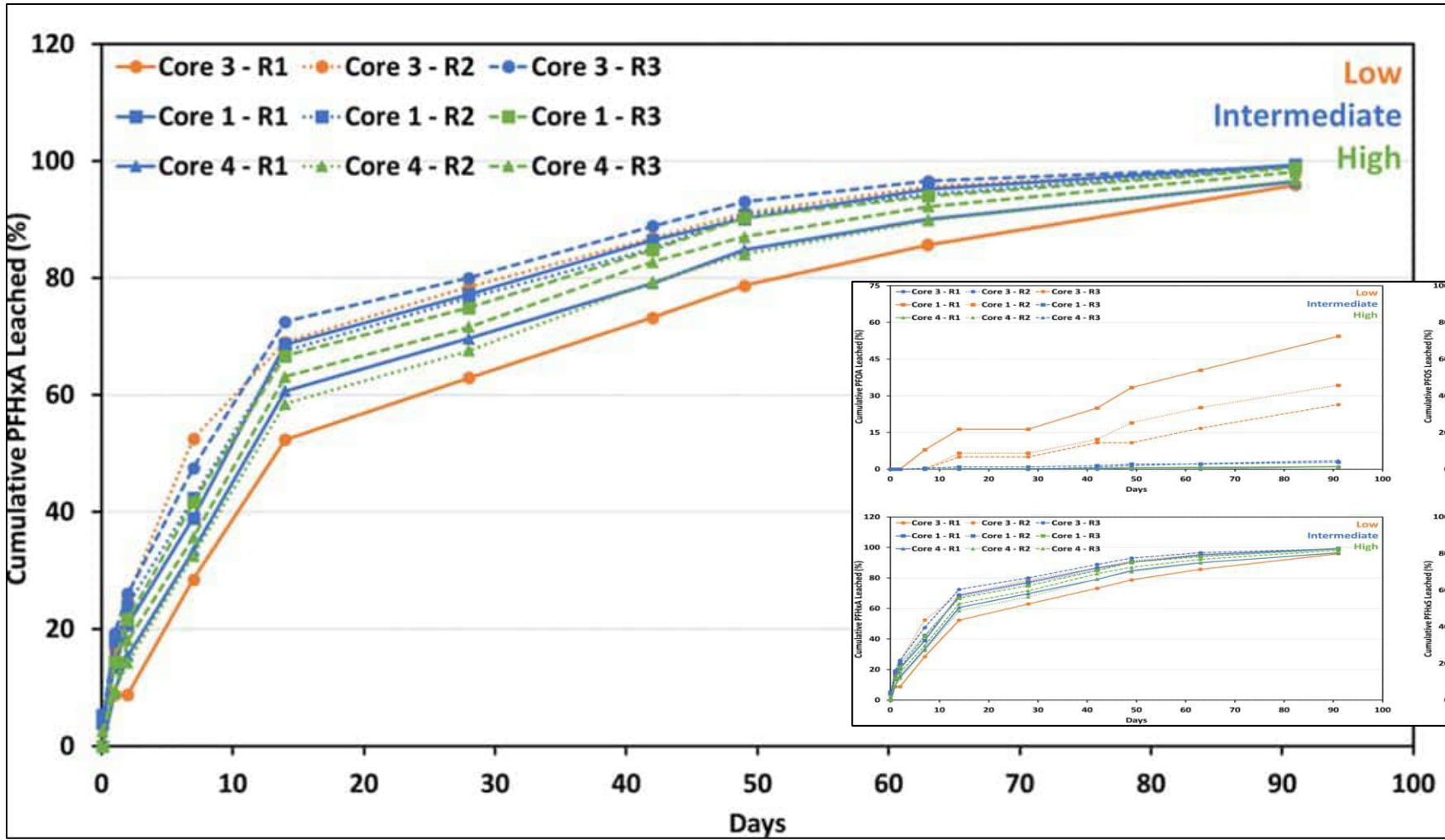
HPC INTERNATIONAL SAS



**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**

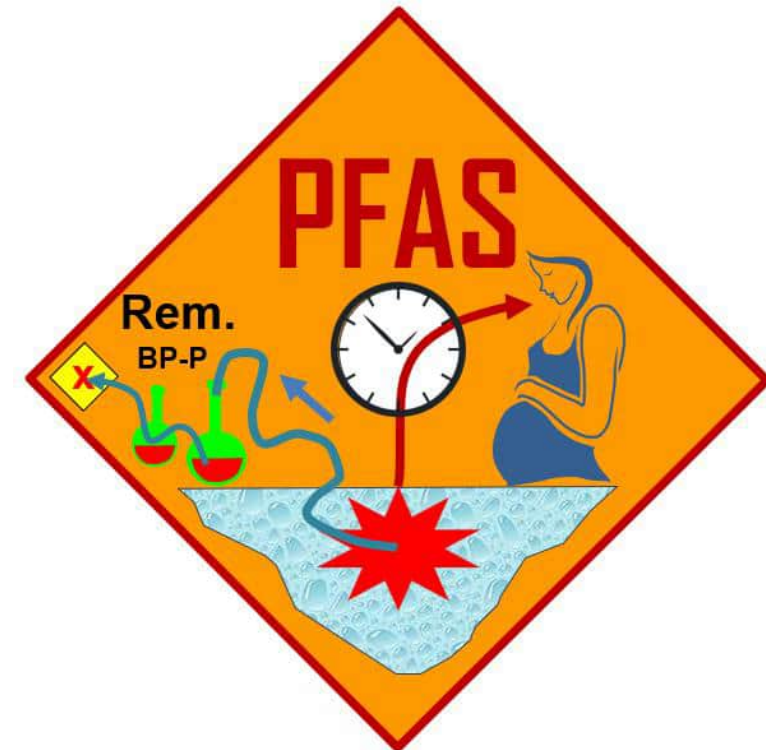
(LaFond et al. 2023, D.M.J.
Shaw et al. 2019 ,Ying Shi,
2018 et V. Mendeza et. al.
2022)

Elution du PFHxA en dependance du temps (0 – 90 jours): Long Term Elution



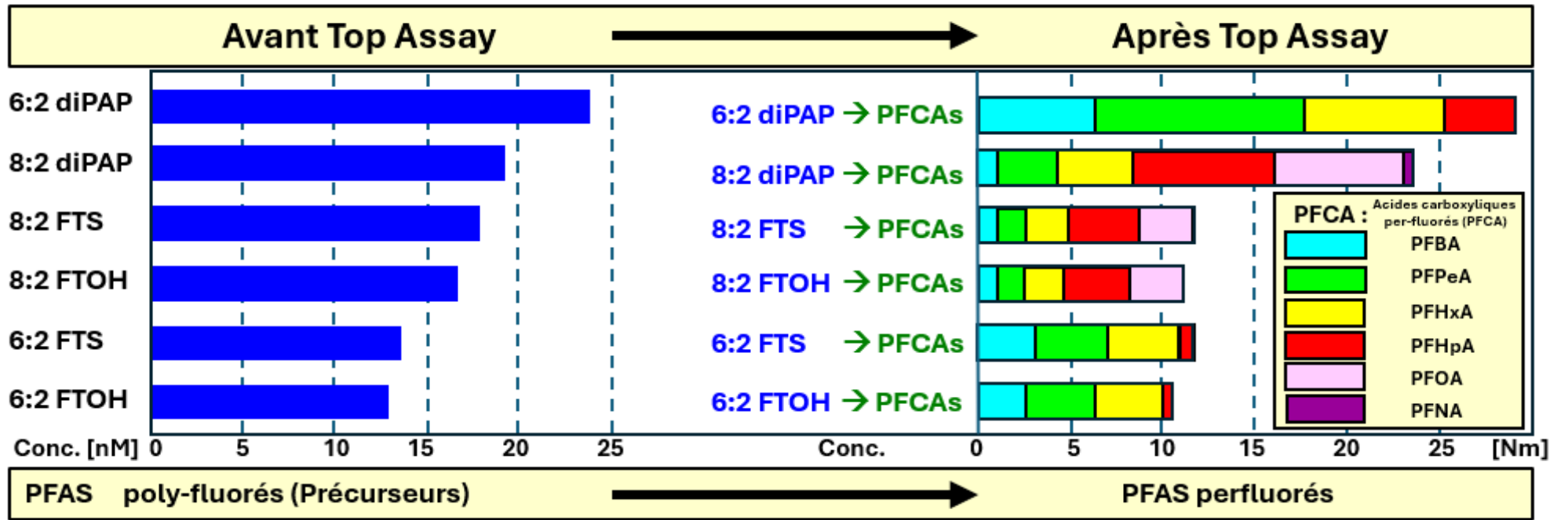
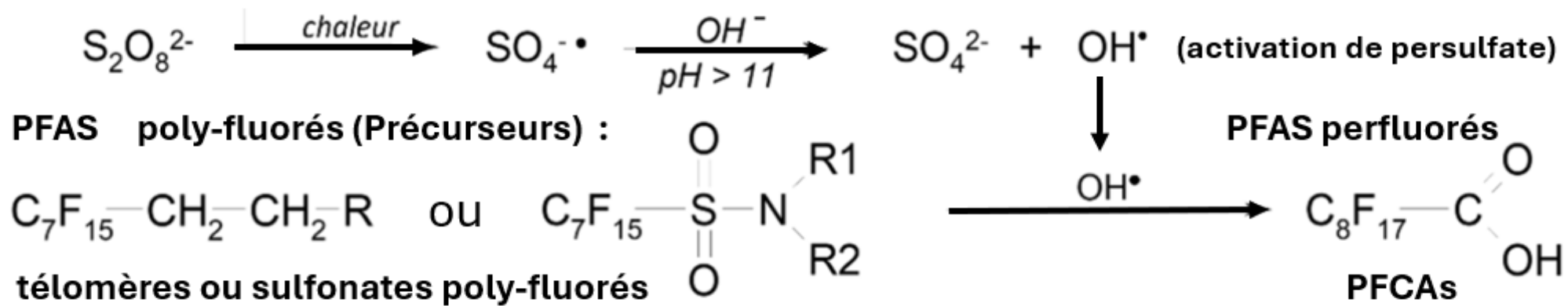
Mobilité et Solubilité des PFAS différents:

- Les PFAS poly-fluorés des types sulfobétaïnes et sulfonates: (N-)EtFOSA, (N-EtFOSAA), Capstones (6:2-FTNO, 6:2-FTAB, 6:2-FTS (ou H4PFOS) **sont très difficiles à lessiver** des sols (surtout en présence de minéraux argileux et sesquioxydes).
- Cette situation change suite à la biotransformation ou de l'oxydation de ces molécules **en PFAS per-fluorées** finaux; acides perfluoro-sulfoniques et -carboxyliques **beaucoup plus solubles**.
- Suite à l'oxydation microbiologique ou chimique la **dépollution in-situ des sols saturés et non-saturés** est plus facilement applicable via le **lavage par des bio-polymères protéiniques** ou les **béta-cyclodextrines....**

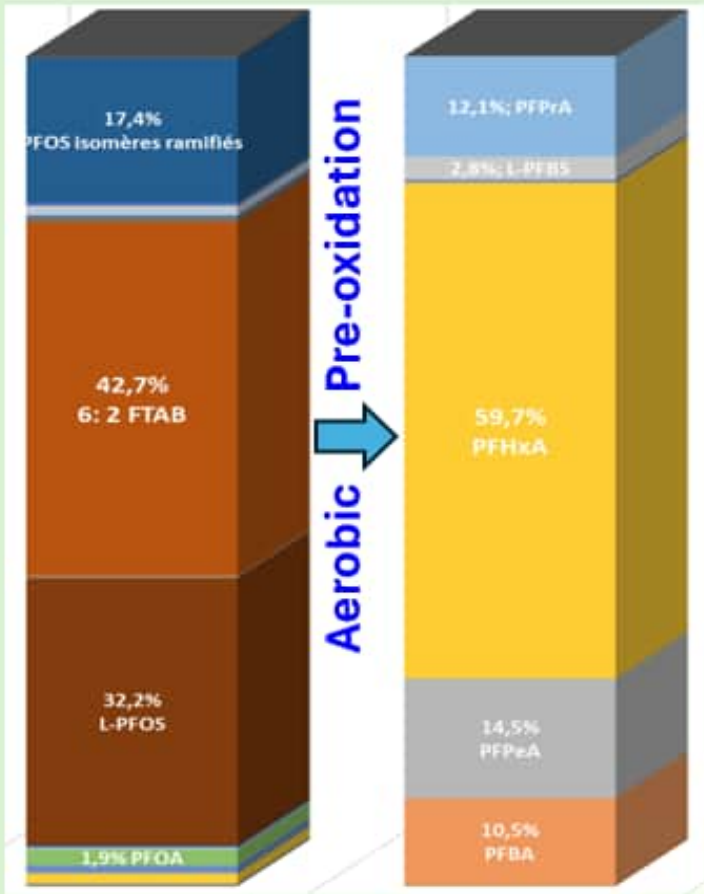


Transformation
des PFAS
poly-fluorés en
PFCAs PFAS
per-fluorés
(PFCAs) plus
solubles

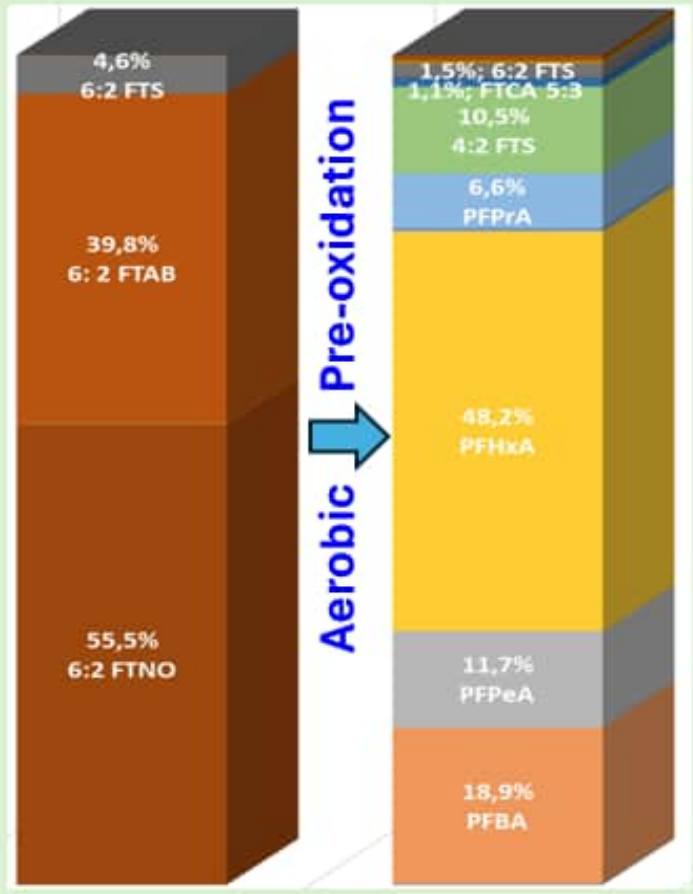
Frank KARG 2024

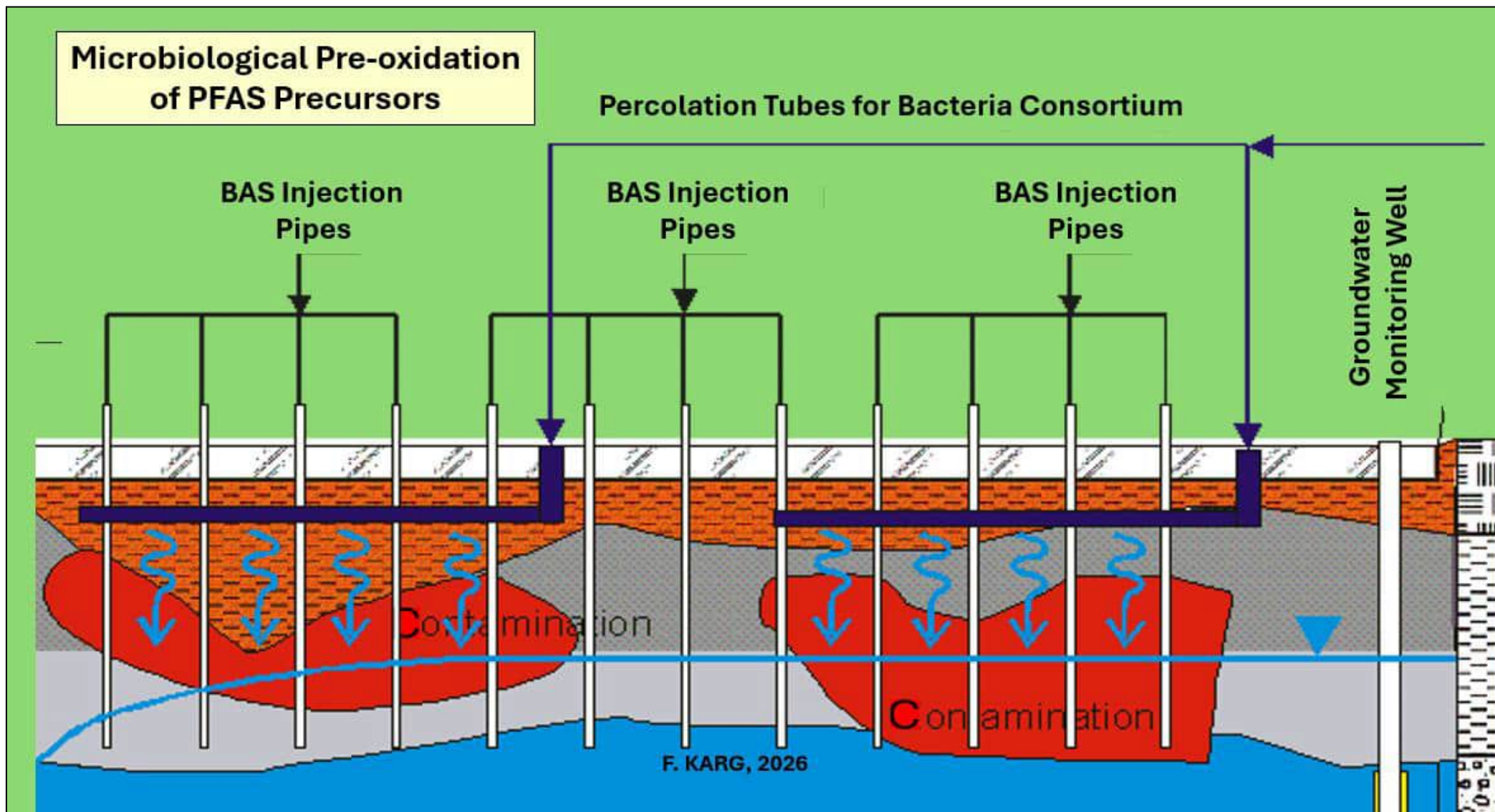


PFAS Contamination by Hydral 3 – AFFF before and after aerobic Pre-oxidation



PFAS Contamination by Profilim – AFFF before and after Aerobic Pre-oxidation

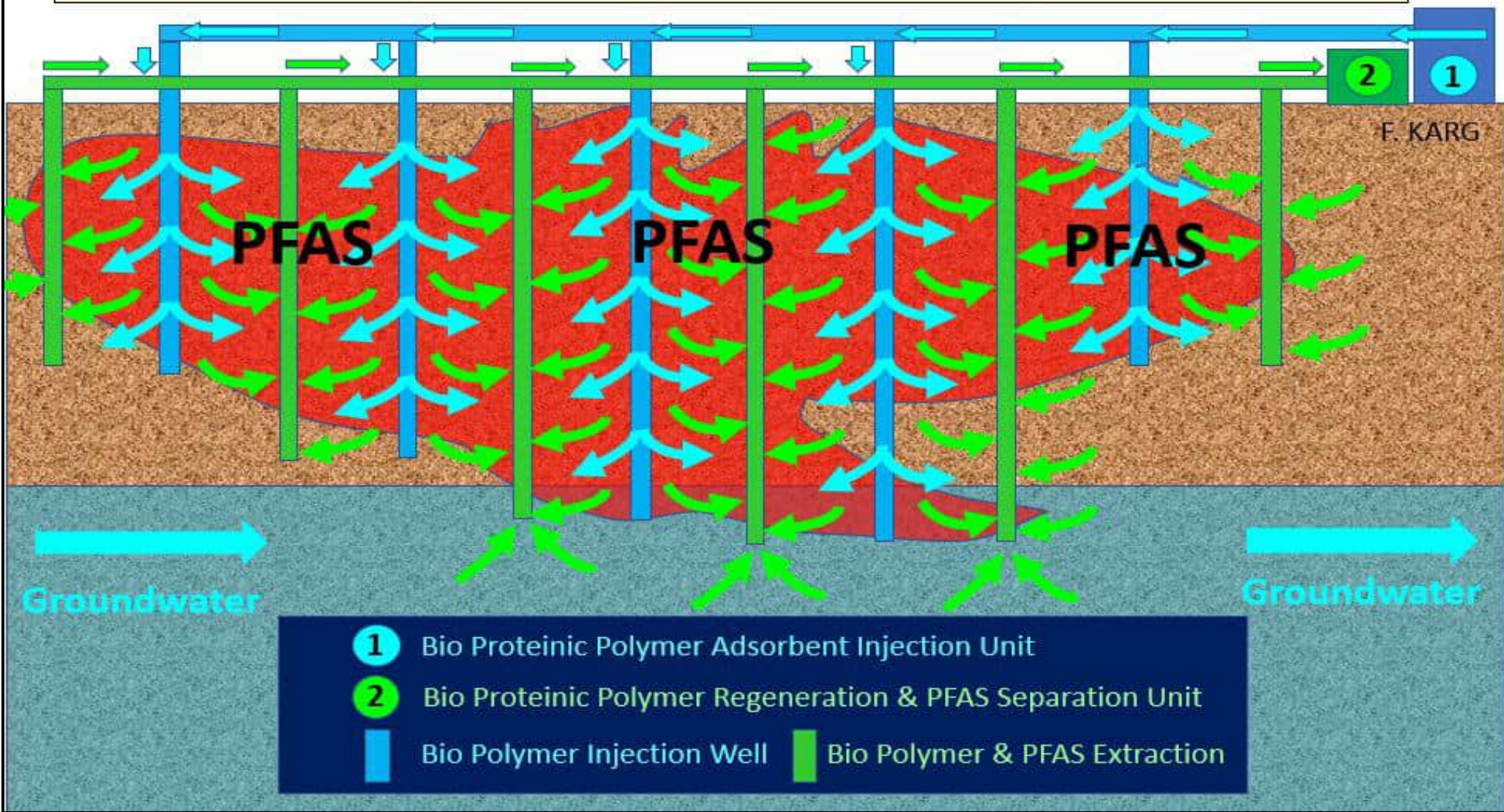




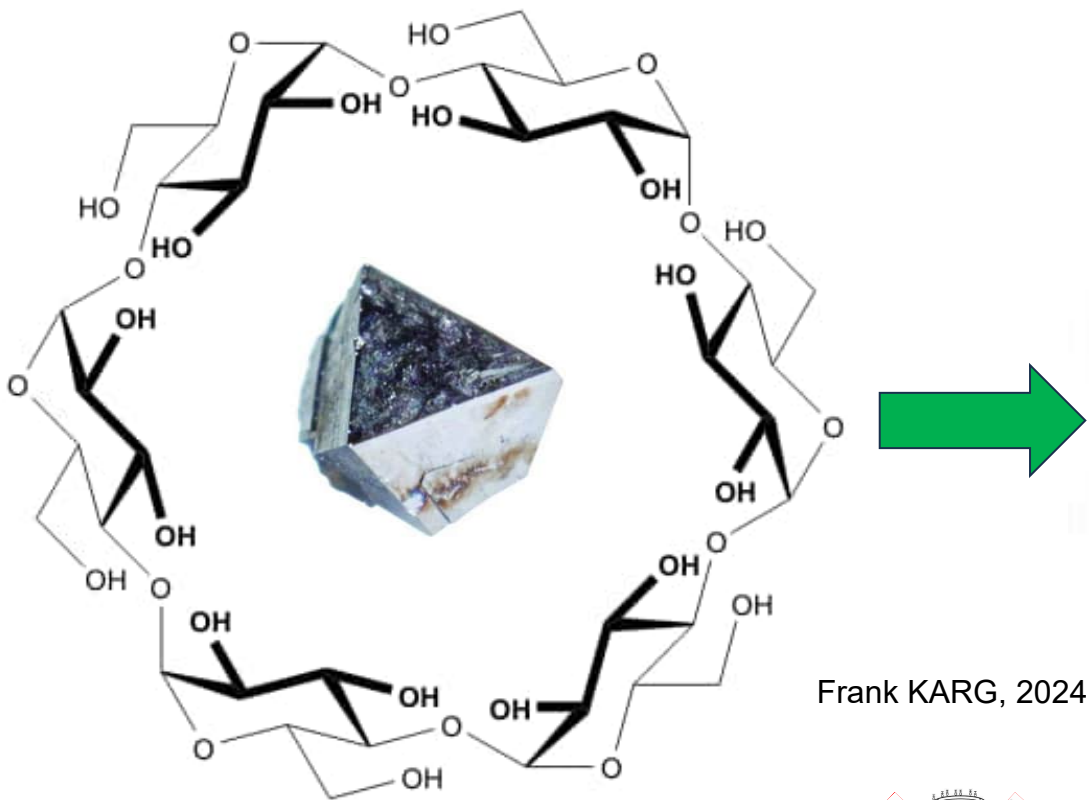
**Prétraitement microbiologique aerobie par BAS, puis
Lavages par percolation avec mélanges des BPP sans bio-oxydation au préalable**



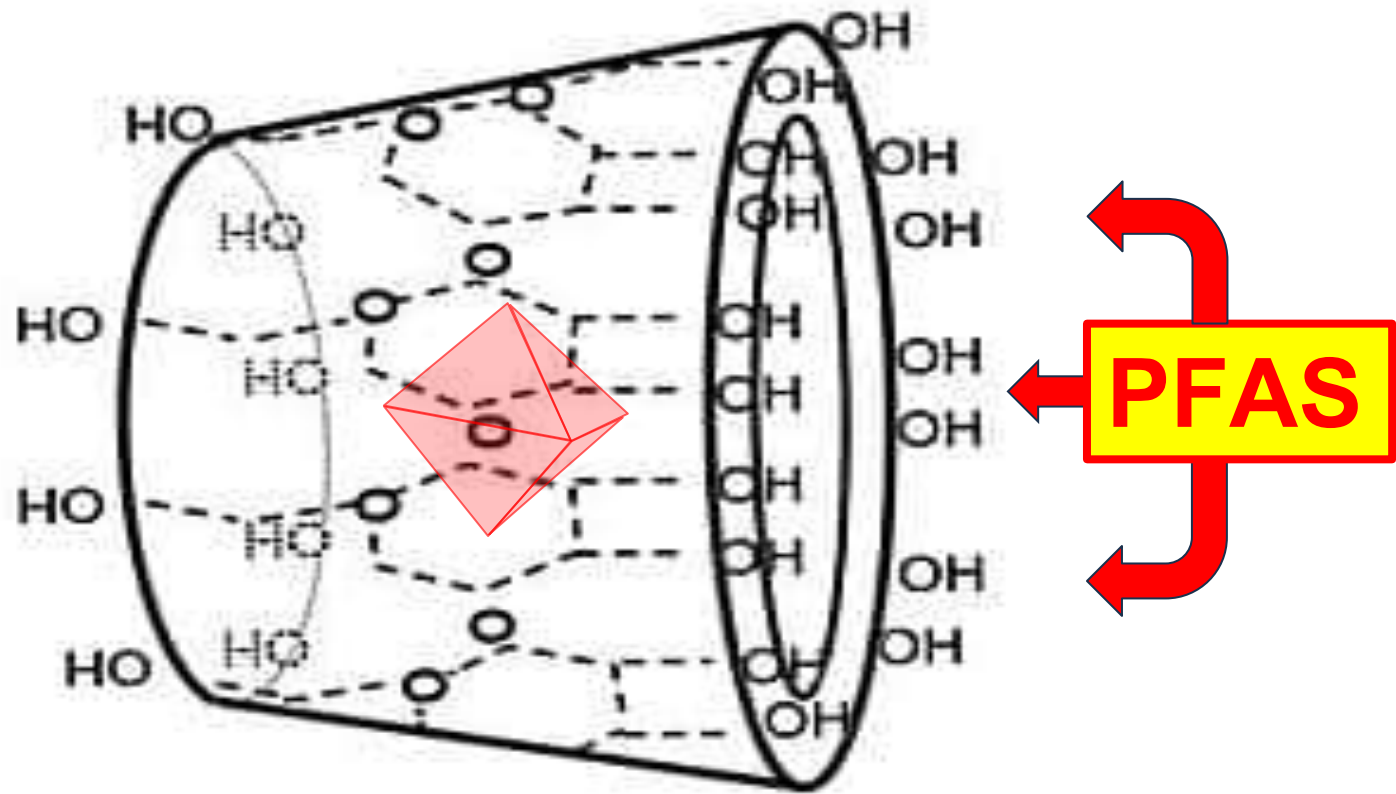
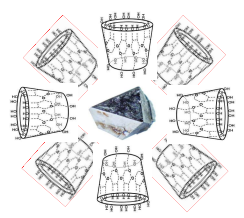
In-situ Soil & Aquifer Washing via Proteinic Bio-Polymer Adsorbents



n-Magnetite Crystals coated by Tunnel - Beta-Cyclodextrins



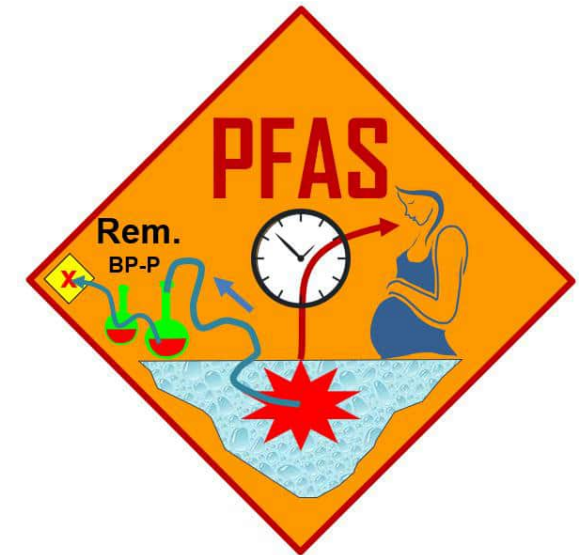
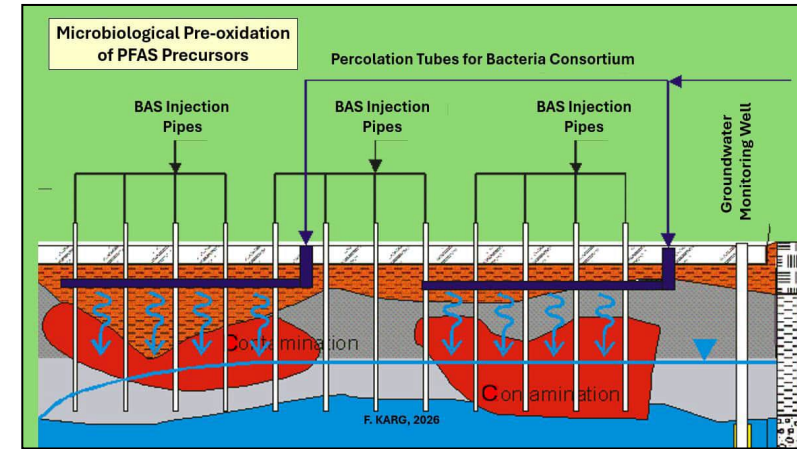
Frank KARG, 2024



Conclusion :

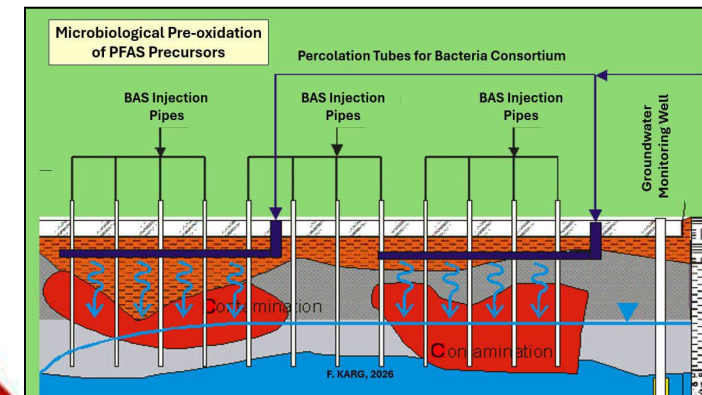
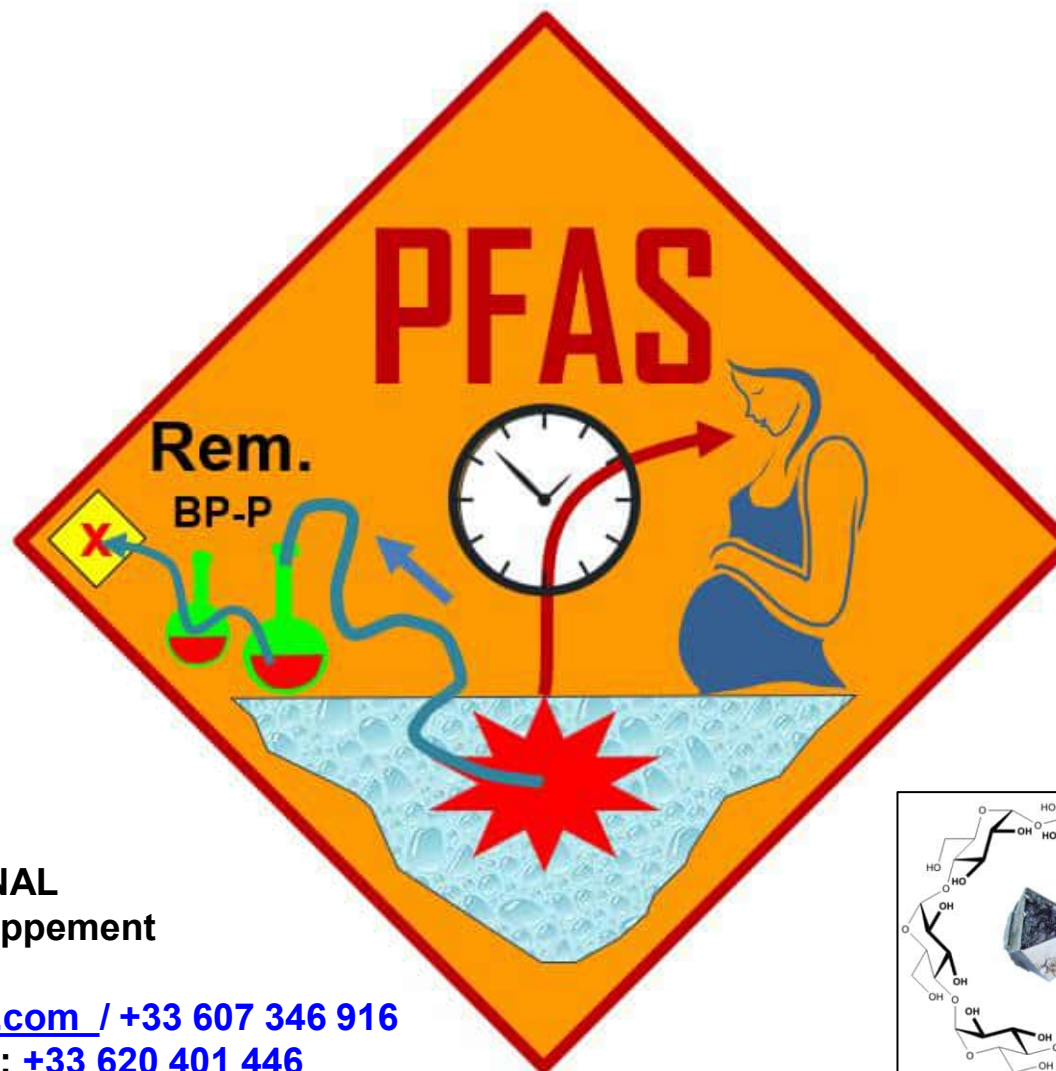
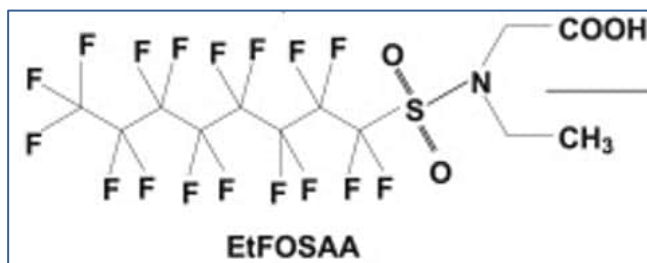
Les évaluations des risques (EQRS et ARR) d'un plan de gestion d'un site pollué aux PFAS doivent tenir compte de la lixiviation des PFAS et de leurs fronts de migration (qui pourraient être modélisés).

Les études de faisabilité technico-économiques des stratégies de réhabilitation, notamment par le lavage in-situ ou ex-situ (on-site et off-site) ou par Immobilisation, doivent prendre en compte les capacités de lixiviation et d'élution des différents PFAS.



→ **Merci !**

**Questions ?
Remarques ?**



Dr. (PhD) Frank Karg
CEO-President of HPC INTERNATIONAL
CEO- President of ATLANTIS Développement

Email: frank.karg@hpc-international.com / +33 607 346 916
frank.karg@atlantis-dd.com / Phone: +33 620 401 446

