

PFAS : LA Pollution du Siècle : Compréhension et Gestion

La gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostiques, chimie environnementale, évaluation des risques valeurs réglementaires et traitements de dépollution dans les eaux, les sols, les gaz du sol et de l'air ambiant

Dr. Frank Karg: Directeur Scientifique du Groupe HPC (INOGEN JV) & Président d'HPC INTERNATIONAL SAS / France & Allemagne
Email: frank.karg@hpc-international.com / Téléphone: +33 (0) 607 346 916

HPC INTERNATIONAL

Hôtel de Recherche / Centre Médical de Perharidy / 29 680 Roscoff – France
& Dr. Alfred-Herrhausen-Allee 12 / 47228 Duisburg - Allemagne
& 8, rue du Maréchal Foch / 78 000 Versailles - France

1. Introduction

Les PFAS : Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances sont devenues progressivement depuis des années 1960 un problème environnemental majeur, également pour la Santé Publique, en raison de leur application multiple et vaste (historique et toujours actuelle). Cette menace environnementale et pour la Santé Publique commence à être prise en compte petit à petit depuis les années 2010 et fortement en 2022 & 2023. Par conséquent, les PFAS se retrouvent aujourd'hui dans les sols, les eaux souterraines, les aliments et l'eau potable ainsi que dans les Gaz du sol et de l'Air ambiant pour une famille de PFAS volatils, les FTOH : Fluorotéломère-Alcools. Entre 9 000 à 12 000 polluants synthétiques de PFAS ont été produits.

Les **PFAS polymères** du type « Teflon » (ou PFTE) etc. ne disposent pas une bonne biodisponibilité et sont donc par conséquence beaucoup moins toxiques que les **PFAS monomères**. Ces PFAS monomères sont l'objet des travaux présentés ci-joint. Les PFAS sont connues notamment pour leurs **effets toxicologiques** des **perturbations endocriniens**, d'hépatotoxicité, d'immunotoxicité, le développement des fœtus et pour certains, la **cancérogénicité** (par ex. le PFOA [27 – 87, 184 - 193]).

Dès le début des années 2000 des informations concernant la bioaccumulation humaine devenaient alarmantes, car jusqu'à 25 µg/l dans le sang en PFOA cancérigène et jusqu'à 20 µg/l dans le sang en PFOS (pot. cancérigène) ont été trouvés en Allemagne (UBA 2015) [180]. En rappel, selon la Directive (UE) 2013/39/UE « Cadre sur l'eau » européenne (DCE), concernant le PFOS & dérivés (et pour d'autres substances prioritaires) une Norme de Qualité Environnementale (NQE-MA) de **0,65 ng/l pour les Eaux superficielles et de 0,13 ng/l pour les Eaux du milieu marin sont fixés (soit env. d'un facteur de 30 000 – 192 000 fois inférieur)**. Aujourd'hui on ne trouve quasiment ne plus d'échantillon de sang humain en Europe sans présence sanguine des PFAS... Depuis 2016 des différents programmes de bio-monitoring, comme HBM4EU (de la Communauté Européenne montre une **bioaccumulation des PFAS inattendue chez les Enfants et des adolescents....** [195].

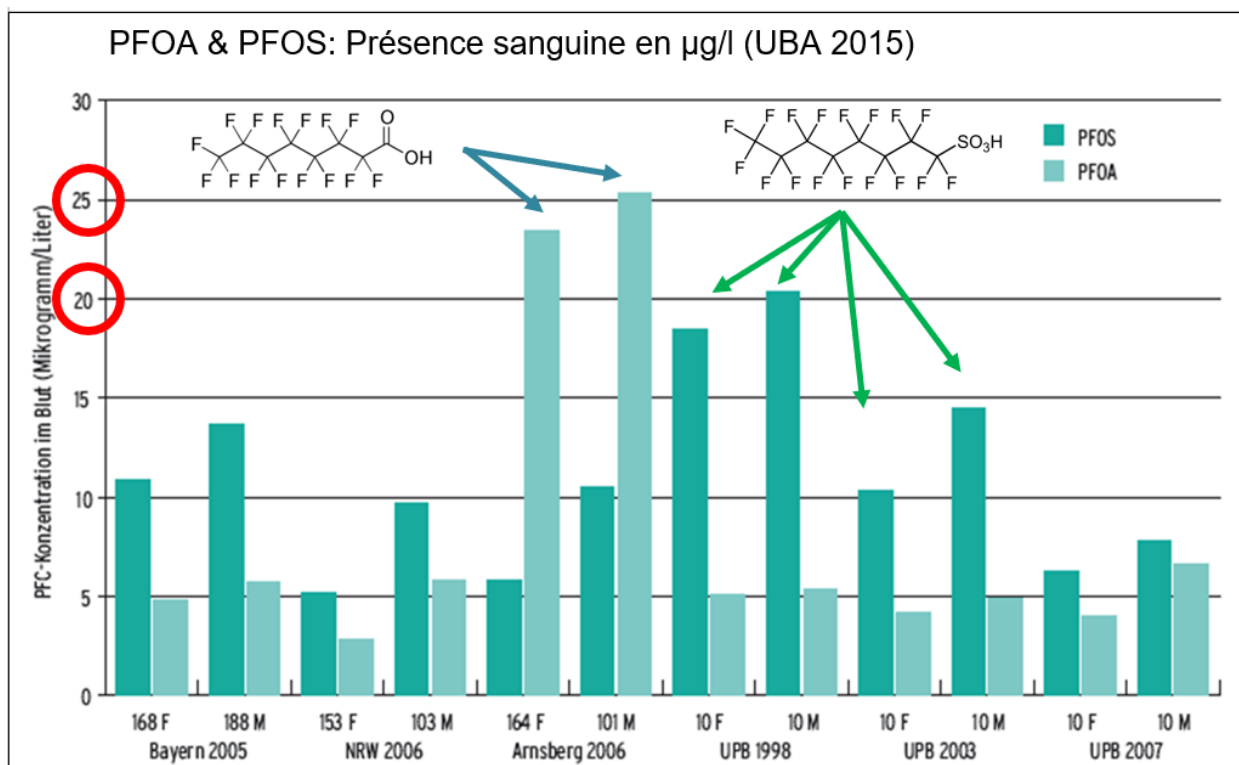


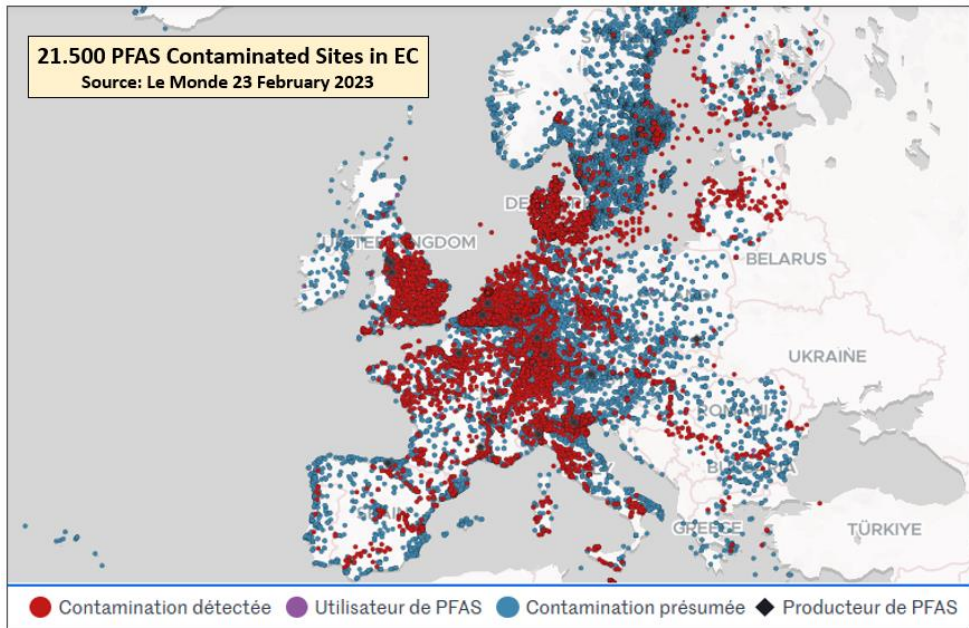
Fig. : Bioaccumulation sanguine des PFAS constaté en Allemagne, dès des années 2000 [UBA 2015] [180]

Une caractéristique importante des PFAS est leur comportement dans la **Chimie Environnementale**, car seulement les **PFAS polyfluorés** sont modifiés par **bio-transformation** microbiologique en **PFAS perfluorés**, qui **restèrent totalement stables et non-dégradables, voir même bioaccumulables**.

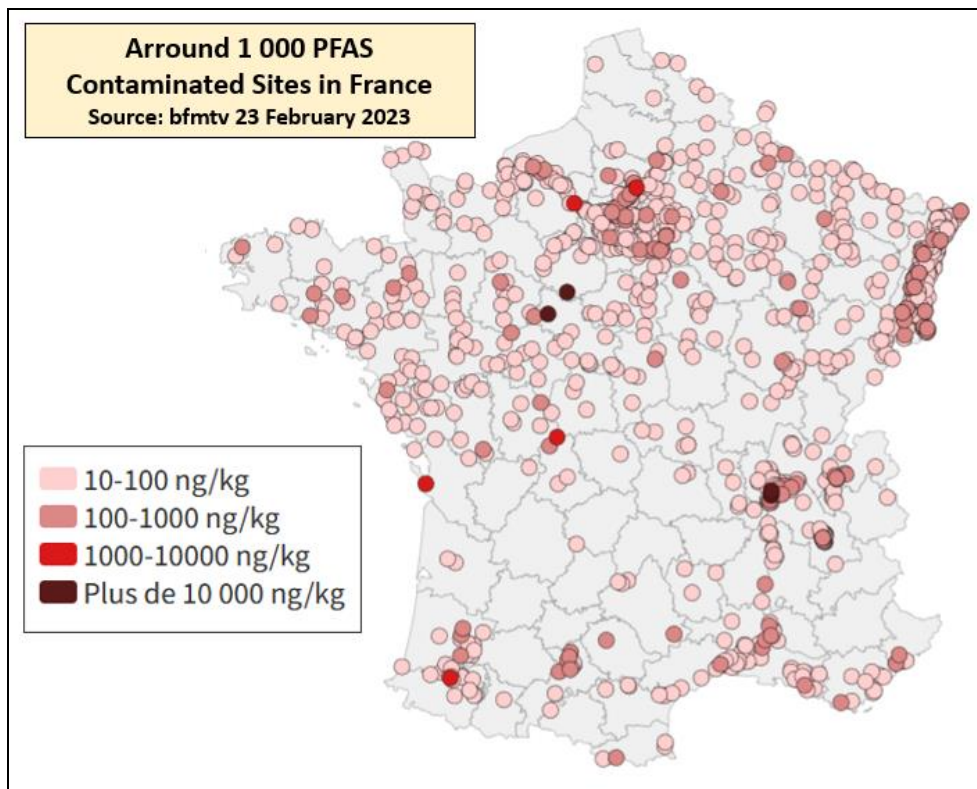
Les **sources de Pollutions par PFAS** sont **multiples** et notamment présentes **sur les sites industriels, qui ont utilisés ces produits, les sites des anciens incendies ou de l'entraînement anti-incendie, où des mousses anti-incendie (AFFF : Anti Fire Fighting Foams, par ex. sur des aéroports) ont été utilisés, ou sur les terrains agricoles** (où des boues de STP : Stations d'Épuration ont été apportés, car ils comportent des PFAS accumulés).

En Allemagne on compte env. 1 500 – 2 000 sites contaminés par des PFAS et en France env. 1 000 – 1 500 sites, selon les estimations. Le fait, que les PFAS ont presque tous un caractère tensioactif, ils **sont très solubles et provoquent des pollutions dans les eaux souterraines**, les eaux de surface et même de l'**eau potable**. En plus, les PFAS sont bio-accumulables. Dans le cas d'usage (sensible) d'un tel site pollué par des PFAS, certains produits volatils (**FTOH**) pourront migrer par émanations **à partir des sols et les eaux souterraines pollués vers les Gas du sol et de l'air ambiant**.

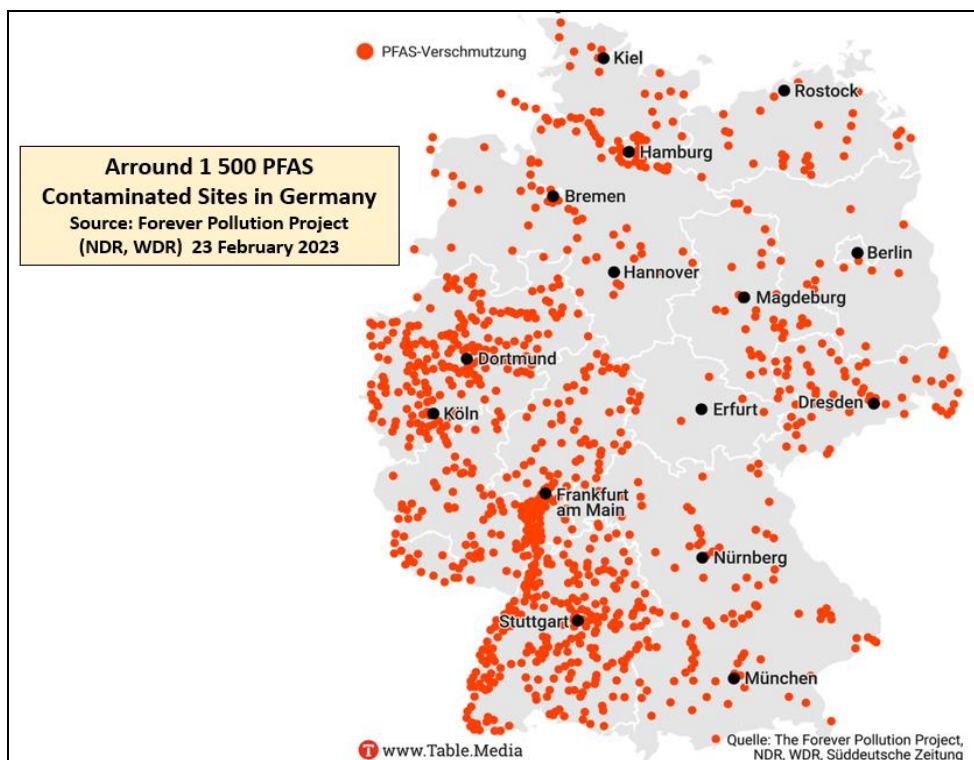
Les cartes suivantes (Carte 1a – c) montrent l'état de connaissances des sites pollués par des **PFAS en Europe en France et en Allemagne au début de 2023**.



Carte 1a : Etat de connaissances des sites pollués par des PFAS en Europe au début de 2023.



Carte 1b : Etat de connaissances des sites pollués par des PFAS en France au début de 2023



Carte 1c : Etat de connaissances des sites pollués par des PFAS en France au début de 2023

Dans le cas des ERP sensibles (Etablissements recevant le public), comme les écoles et les crèches, les émanations à partir des sols et eaux souterraines pollués vers les Gaz du sol et l'Air ambiant pourront poser un problème de Santé publique significatif pour les enfants et encadrants, si par. ex. l'établissement se trouve sur ou à proximité d'un site (historiquement) pollué par les PFAS. Dans le cas de présence des sols pollués aux PFAS lourds un transfert vers les poussières transférées vers l'Air ambiant intérieur et extérieur est aussi possible sur des sites contaminés.

Un tel ERP sensible, sur ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué par des PFAS, devrait faire l'objet d'un diagnostic de pollution PFAS et notamment concernant les FTOH : Fluotélomère alcools volatils dans les eaux souterraines, les Gaz du sol et l'Air ambiant. Dans le cas d'un résultat positif en PFAS-FTOH, une Evaluation Quantitative des Risques (EQRS) devrait être réaliser, afin de décider sur la nécessité de mesures de gestion par un traitement de ces pollutions.

2. Sites pollués aux PFAS et études historiques

Afin d'identifier si un site à usage sensible (ERP : Ecoles, Crèches mais aussi les Habitations) pourra se trouver sur ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué par des PFAS, une étude historique est nécessaire. Le risque des pollutions par des PFAS pourra être augmenté par la

cumulation d'une (ancienne) activité industrielle aux PFAS sur un site, l'arrivée d'une **pollution par des PFAS via la migration dans les Eaux souterraines ou des Gaz du sol (comportant des FTOH)** et par des anciens **événements d'incendies**, qui ont été soumis aux applications des **mousses anti-incendie (AFFF)**. **Une co-pollution par des COV** (Composés Organiques Volatils, comme les hydrocarbures HC₅₋₁₆, BTEX, Solvants chlorés ou Solvants polaires, etc.) **pourra renforcer les migrations des FTOH dans les Gaz du sol vers l'Air ambiant.**

Une **méthodologie de score et de priorisation de sites** concernant les **besoins des diagnostics des pollutions par des PFAS & FTOH** a été élaboré par HPC, afin d'**identifier les ERP (Ecoles & Crèches, etc.)** et d'autres sites (sensibles) **prioritaires à risque sanitaire potentiel**. Cette méthodologie de score et de priorisation est entre autres basée sur les critères suivants :

Activité (historique) sur site (ou à proximité) depuis 1946 ou après 1961 [1 – 27] :

- Entraînements anti-incendie,
- Aéroport ou base aérienne site militaire,
- Site d'incendie et utilisation des AFFF,
- Galvanisation électrochimique,
- Production des papiers ou cartons « cirés »,
- Production des Textiles imperméables,
- Sprays, peintures, laques d'imperméabilisation,
- Production et application des Teflons (PTFE, etc.),
- Sites pétroliers et de l'industrie chimique et/ou production et application des peintures, des teintures, des encres, des pigments, les cires chimiques et les produits de polissage,
- Applications des solvants (garages, pressings, blanchisseries, etc.),
- Décharges et anciennes décharges municipales, etc. (ISDD, ISDND, ISDD, etc.),
- Teintureries & Tanneries,
- Moquettes, tapis, tissus et plastiques avec des retardateurs des flammes,
- Production des objets et meubles contenant des surfaces,
- Production des produits de nettoyage,
- Chimie photographique (laboratoires, et production des papiers et films, etc.),
- Production des Eléments électroniques,
- Production et applications des Pesticides et biocides,
- Production des produits cosmétiques,
- Sites ayant reçus des Boues de STEP.

3. Chimie Environnementale des PFAS

La Chimie environnementale des PFAS est particulièrement importante et compliquée. Il n'existe aucun groupe de polluants montrant une chimie environnementale plus complexe que les PFAS. Toute d'abord, il faut constater qu'il existe **plus que 9 000 substances PFAS**, divisées dans **33**

catégories des substances. Les plus connues sont les Acides perfluoroalkane-sulfoniques (PFASs), les Acides perfluoroalkyliques-carboxyliques (PFCA), les Perfluoroalkyliques-phosphates & leurs esters, les Fluorotélomère-alcooles (FTOH), etc. (dont plus **32 autres groupes...**). Certains entre eux, comme par ex. le **PFOA** : Acide perfluoro-octanoïque et le **PFOS** : Perfluoro-octane-sulfonate (cf. Fig. 1) sont bannies (et **interdit en CE et USA & Canada**) par la **Convention de Stockholm** dans la catégorie des **POP** : Persistent Organic Pollutants. Le PFOA est cancérigène. Les **produits commerciaux** contiennent principalement des **mélanges**.

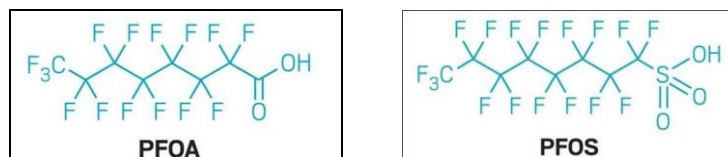


Fig. 1a & b : Formules structurales des PFOA & PFOS

La raison de la forte solubilité dans l'eau et d'une lipophilie en même temps est basée sur le fait qu'il existe des **PFAS** :

- **Anioniques** (par ex. les sulfonates, les sulfates, les carboxylates et les phosphates),
- **Cationiques** (par ex. ammonium quaternaire),
- **Amphotères** (par ex. betaines et sulfo-betaines) : base + acide et
- **Non ioniques** (par ex. polyéthylène glycols, oligomères d'acrylamide).

Biotransformation des PFAS poly-fluorés (Précurseurs) vers des PFAS per-fluorés persistants :

Il est très important de sous-ligner, que les PFAS poly-fluorés non entièrement fluorés (» Précurseurs «) peuvent être convertis par bio-transformation en produits chimiques persistants et entièrement fluorés = PFAS per-fluorés [28, 88 - 91, 139- 145, 153, 180, 181, 195]. La dégradation complète microbiologique des PFAS n'a pas encore été démontrée.

Un Schéma de l'UBA (2020) montre bien cette **bio-transformation des PFAS poly-fluorés (précurseurs vers les PFAS per-fluorés persistants** en environnement (cf. Fig. 2.).

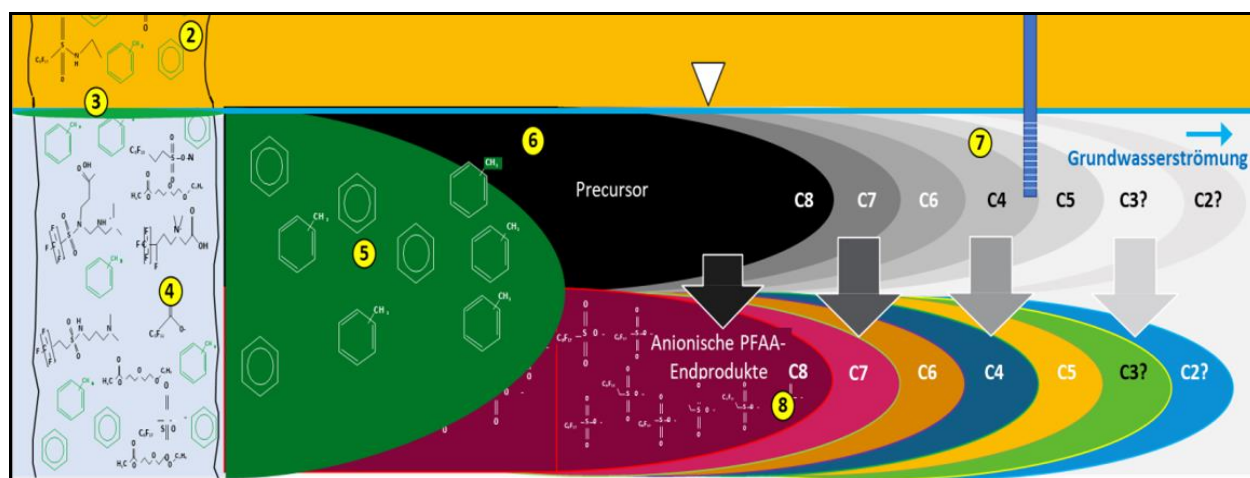


Fig. 2 : Schéma de Biotransformation des PFAS poly-fluorés (Precursors) vers des PFAS per-fluorés (UBA 2020) [153]

Concernant les PFAS poly-fluorés, il existe un processus de transformation fondamental dans lequel les atomes de carbone terminaux non-fluorés sont séparés. Cette dégradation partielle est relativement rapide. Par ex. les alkylphosphates polyfluorés (PAP) et les esters d'acide carboxylique etc. peuvent être décomposés en alcools fluorotélomères volatils (FTOH), par ex. tels que le 6:2-mono-PAP & 6:2-di-PAP envers le 6:2-FTOH.

Le schéma en Fig. 3 montre un **exemple de biotransformation des Alkylphosphates polyfluorés (PAP) dans les sols et eaux souterraines vers les Fluorotélomère alcools (FTOH) volatils** qui migrent par la suite **dans les gaz du sol et vers l'air ambiant**. Par la suite, les FTOH sont **transformés microbiologiquement en PFAS per-fluorés stables**. Par exemple ; le **6:2-FTOH** est bio-transformé en PFHxA et PFPeA et le **8:2-FTOH** en PFOA, PFHpA, PFHxA et 2H-PFOA (cf. Fig. 4 & 5).

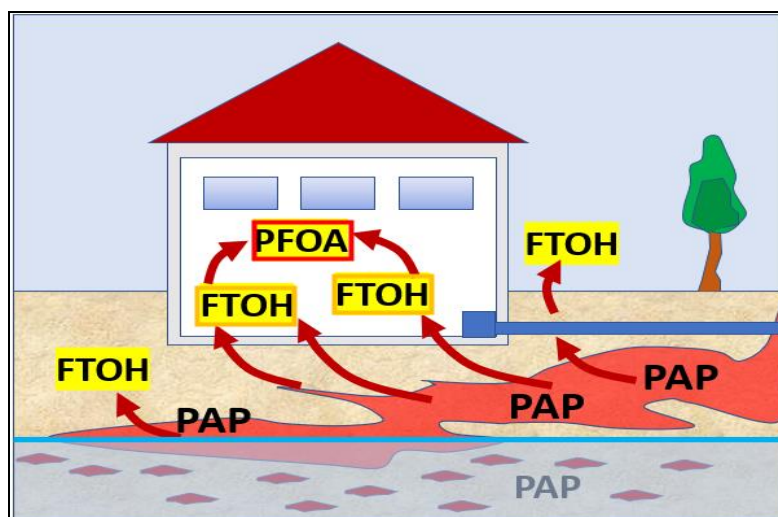


Fig. 3 : Exemple de **biotransformation des Alkylphosphates polyfluorés (PAP)** dans les sols et eaux souterraines vers les **Fluorotélomère alcools (FTOH)** volatils et en PFAS per-fluorés stables, comme par ex. le **PFOA** cancérigène L. KOPF, 2017 et F. KARG, 2021 & 2022 [28, 139- 145, 180, 181,195]

Le Schéma en Fig. 4b montre un **exemple de la biotransformation du 8:2-FTOH** ($F(CF_2)_8CH_2CH_2OH$) via des produits intermédiaires vers des **PFAS perfluorés stables**, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoro-pentanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA**, l'Acide **7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérigène**.

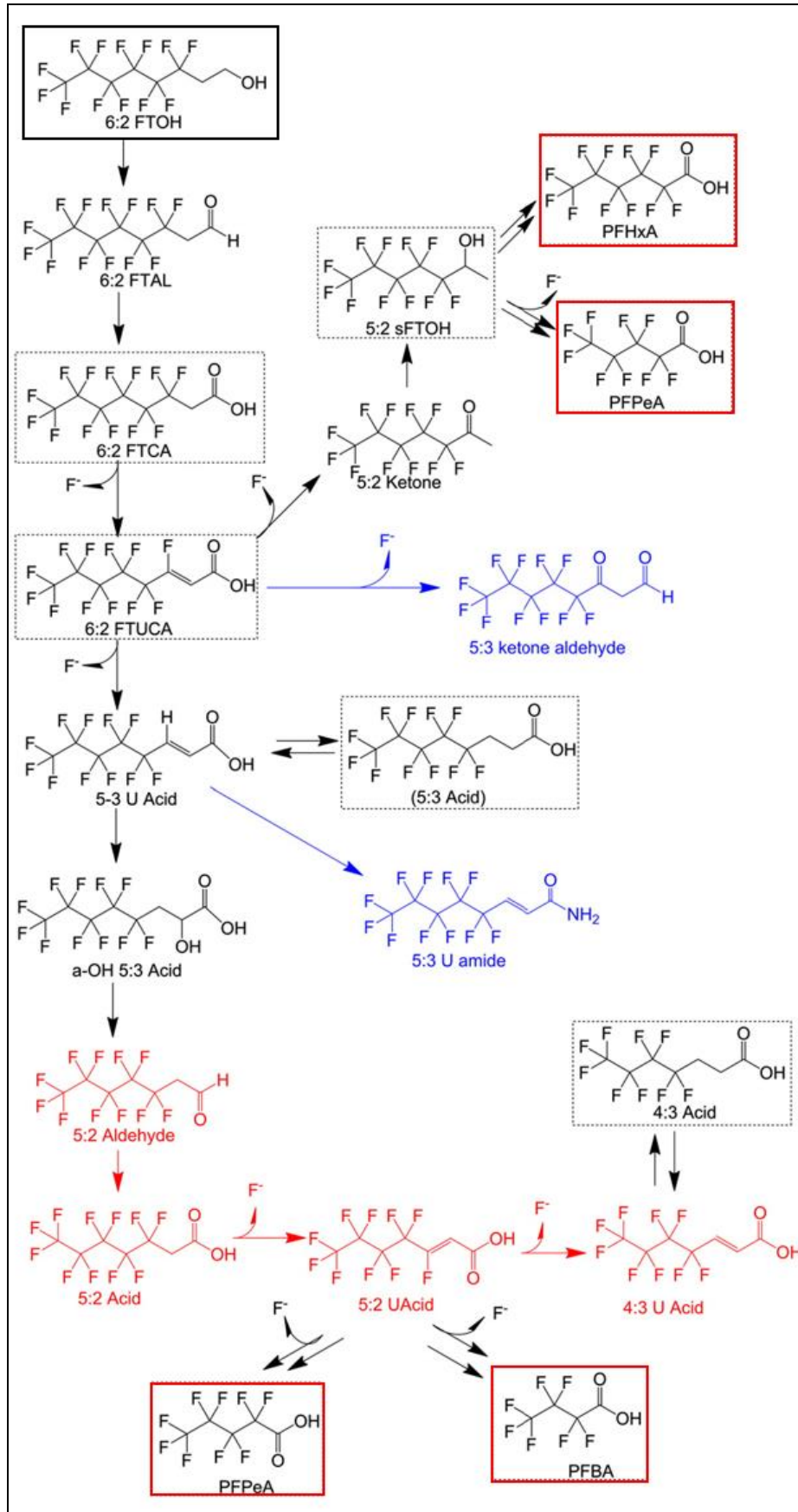


Fig. 4a : Biotransformation des Fluorotélomère alcools ; exemple du **6:2-FTOH** (F(CF₂)₆CH₂CH₂OH) via des produits intermédiaires vers des PFAS per-fluorés stables, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoropentanonic) et le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic) . Les voies de bio-transformation en flèches rouges et bleues ont été déjà identifiées auparavant. Les molécules entourées en rouge sont des PFAS péfluorés stables sous forme des acides carboxyliques. J. Liu & S. M. Avendao (2013) [27, 89, 141 190].

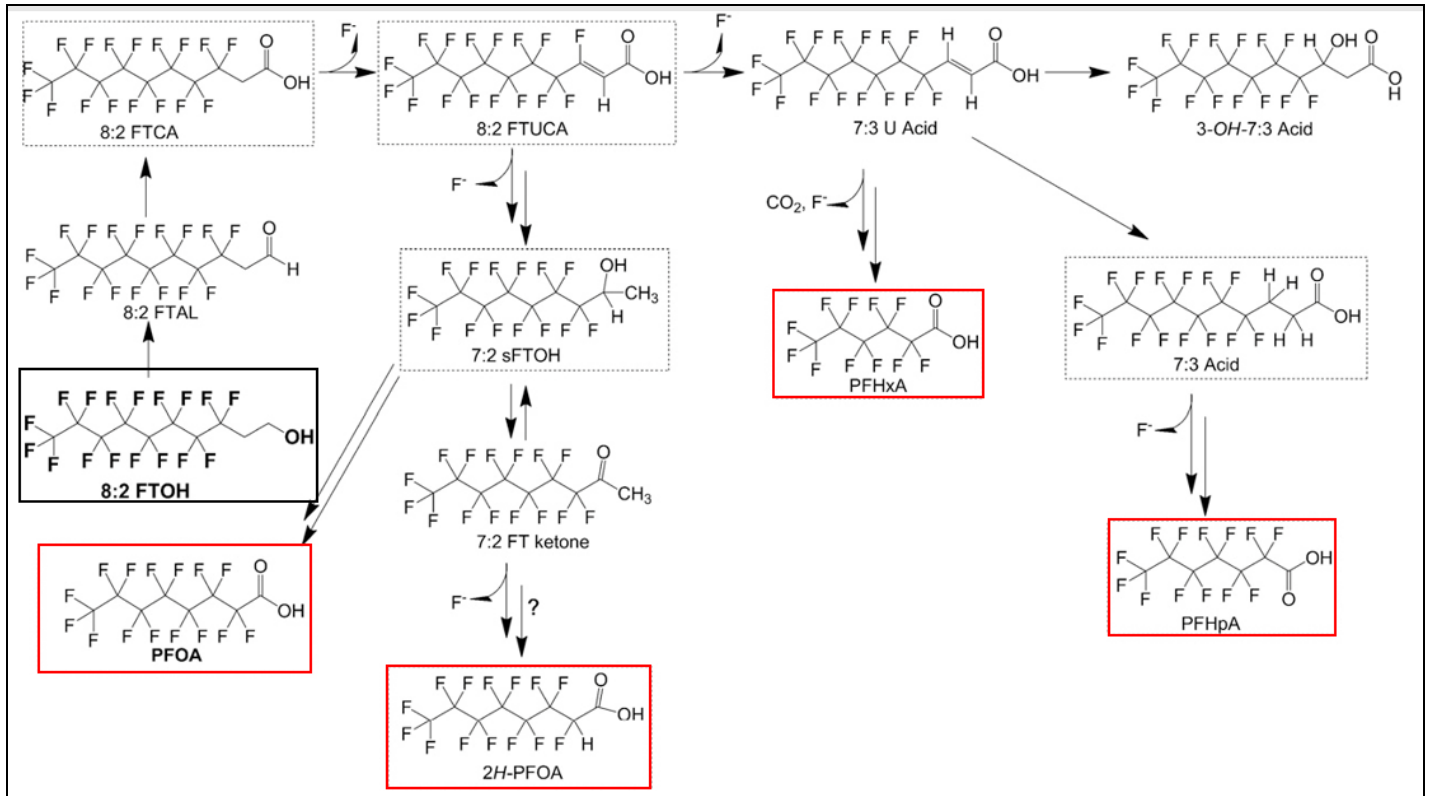


Fig. 4b : Biotransformation des Fluorotéromère alcools ; exemple du **8:2-FTOH** ($F(CF_2)_8CH_2CH_2OH$) via des produits intermédiaires vers des PFAS per-fluorés stables, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoropentanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA**, l'Acide **7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérogène** (Wang et al. 2009) [88, 91, 141].

En cas de changement de pH, certains PFAS pourraient devenir plus ou moins solubles, ce qui a également un impact sur les émanations de télomères fluorés volatils comme le FTOH, etc. dans les gaz du sol. Certains précurseurs pourraient modifier leur solubilité (et leur extractibilité lors des procédures d'analyse chimique). Par ex. l'intrusion d'eau de mer dans l'aquifère pourrait entraîner une augmentation du pH basique de la solubilité de Capstone B. Cela a été observé en 2022 dans la zone portuaire de Hambourg / Allemagne suite aux inondations par l'eau de mer et l'intrusion dans les eaux souterraines, cf. la Fig. suivante. Ces effets pourraient entraîner des concentrations plus de 10 fois plus élevées dans les eaux souterraines qu'avant l'intrusion de l'eau de mer dans les sols et les eaux souterraines.

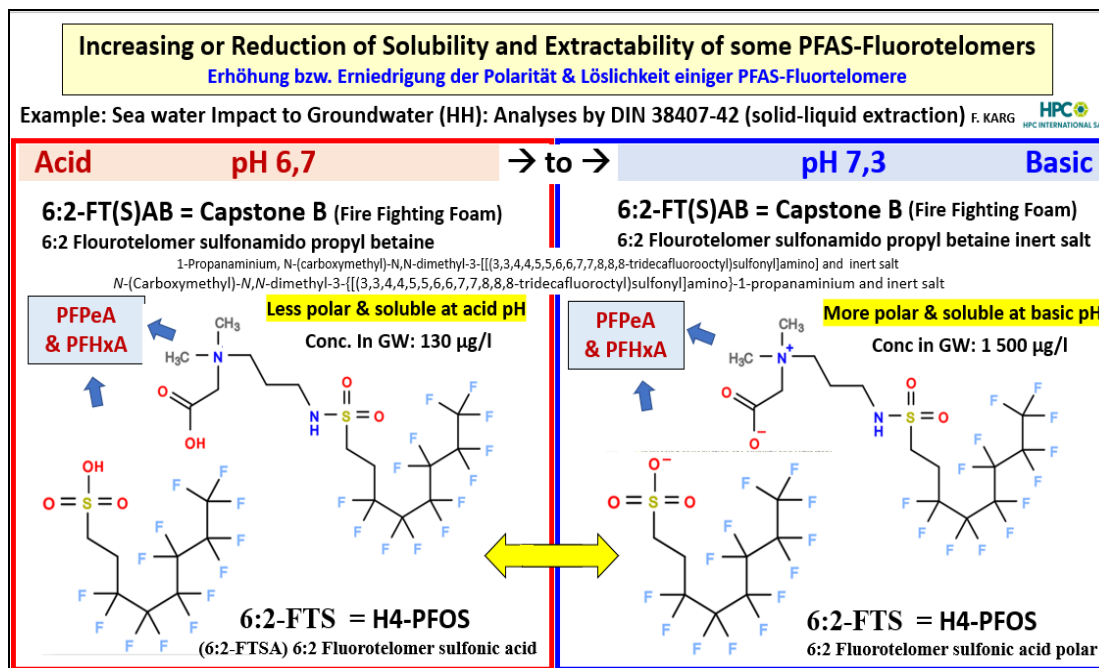


Fig. Capstone B: Différences de la solubilité et de l'extractabilité de 6:2-FTAB & 6:2-FTS en dépendance du pH par intrusion de l'eau de mer dans les sols et les eaux souterraines, observé sur des sites du Port de Hamburg / en Allemagne en 2022 (F. KARG 2022 - 2023) [140, 141, 181]

4. Diagnostic des pollutions PFAS (et FTOH) et évaluation des Risques Toxicologiques

Investigations des pollutions PFAS :

Si les « Précurseurs" (PFAS poly-fluorés) 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 poly-fluorés doivent être prises en compte dans une analyse des risques, car les **PFAS per-fluorés** 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 en composés PFAS perfluorés stables.

Concernant les investigations des **prélèvements & analyses** des sols, sédiments, des eaux souterraines, des eaux superficielles, des Gaz du sol et de l'Air ambiant, il faut éviter que certains outils d'échantillonnage et équipements de laboratoire puissent ajouter des PFAS à des échantillons, notamment via le poly-tétrafluoro-éthylène (PTFE) et Téflons (PFAS polymères) en contact avec des solvants. L'emploi de ces matériaux est donc à éviter.

Il faut tenir compte de la biotransformation potentielle des PFAS dans l'environnement qui créera davantage des PFAS persistants comme le PFOA en particulier. Les analyses doivent être réalisées par Chromatographie Liquide – Spectrométrie de Masse (LC-SM), par ex. selon la norme : DIN 38407-42.

Il est important d'investiguer dans les sols, eaux souterraines et notamment dans les Gaz du sol et de l'Air ambiant potentiellement impacté par des PFAS volatils, les FTOH : Fluorotélomère alcools, par ex. les 6:2- et 8:2-FTOH. Cette méthodologie est particulièrement à appliquer concernant les ERP (Ecoles & Crèches, etc.) et d'autres sites (sensibles) prioritaires à risque sanitaire potentiel.

Il est aussi important de co-investiguer la présence d'autres polluants volatils, come les COV (HC₅₋₁₆, BTEX, Solvants chlorés, Solvants polaires, etc.), car les émanations des FTOH pourront être renforcées par ces polluants.

5. Identification des sources de pollution et des produits commerciaux par les PFAS

Les pollutions des sols, eaux souterraines et eaux superficielles par les PFAS sont fréquemment des mélanges à l'origine de plusieurs sources de produits commerciaux et de sources de pollution. Il est possible de réaliser des screening complets des substances PFAS individuelles afin d'identifier entre 9 000 à 12 000 molécules, mais dans la gestion au quotidien des pollutions dans l'environnement ce n'est pas applicable du fait de la limite de faisabilité technico-économique.

Pour cette raison il est nécessaire de réduire le nombre de composés PFAS à analyser lors des diagnostics environnementaux **grâce à la signature chimique** des produits commerciaux suspectés d'être à l'origine de la contamination. En effet, les PFAS étant une famille de plus de 9 000 composés, il serait impossible de les quantifier tous.

Néanmoins il est nécessaire de rechercher l'identité du ou des produits commerciaux susceptibles d'être à l'origine d'une contamination du sous-sol, sur la base des teneurs en PFAS mesurées dans les sols ou les eaux (souterraines, de surface ou d'assainissement).

La solution de l'identification des produits commerciaux suspectés d'être à l'origine des pollutions par des PFAS, via une signature chimique, a été déjà développée par HPC avec des partenaires US-Américains et Suisses. Il s'agit du Fingerprinting par analyses des « Clusters PFAS » (Karg et al. & Monti 2022 & 2023) [78, 81, 107, 108]. Il découle de ce travail qu'il est suffisant d'analyser 8 à 30 PFAS individuels afin d'identifier, via des relations entre les PFAS individuels, les produits et sources des pollutions d'origine.

Il a ainsi pu être identifié (en utilisant des résultats des analyses chimiques de plusieurs laboratoires d'analyses), **parmi presque 500 Analyses de PFAS dans les eaux souterraines et superficielles en Italie du Nord-Est, 24 sources de pollution** à l'origine d'un très grand panache de pollution par des PFAS. **En comparaison de relations de seulement 8 PFAS entre eux, les produits commerciaux et activités à l'origine ont pu être identifiés**, grâce aux banques de données (USA & Europe) concernant les Clusters PFAS. Ces sources sont par ex. les Imprégnations des textiles, les mousses anti-incendie, les galvanisations, les productions des platines électroniques, les traitements de surface des papiers, cartons, bois, etc. (Fig. 5b).

Les origines des pollutions par des PFAS pourront être identifiées par les analyses des Clusters PFAS (Fingerprinting) (Fig. 1). Nous avons développé cette application avec des partenaires en Suisse et aux USA. Il s'agit principalement de la distribution de 8-30 PFAS perfluorés stables, afin d'identifier les produits d'origine (mousses anti-incendie, produits d'imprégnation des textiles, laques, Polymères fluorés (Teflon, PTFE, PVDF, etc.), mousses des procédés galvaniques, etc. Nous pouvons intégrer jusqu'à 500 PFAS individuels dans cette analyse de Clusters, mais la limitation à 20 – 30 PFAS individuels est moins couteuse et dans la plupart des cas suffisante. Cette approche a permis de dissocier dans le Nord-Est de l'Italie plusieurs origines différentes de grands panaches de pollutions par des PFAS mélangés dans les eaux souterraines et eaux superficielles (Fig. 5a & 5b).

Des **analyses des Clusters PFAS** pourront identifier les origines industriels ou des produits commerciaux ayant provoqués les pollutions environnementales par les PFAS, cf. Fig. 5a).

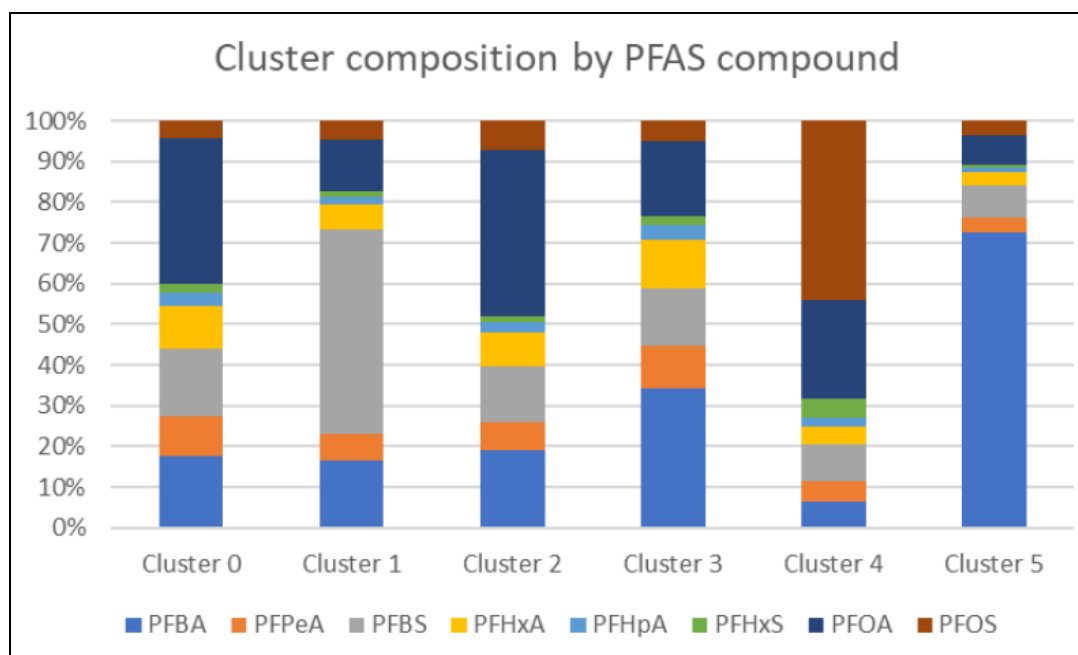


Fig. 5a : Clusters typiques des PFAS (MONTI et al. 2021) [107, 108]

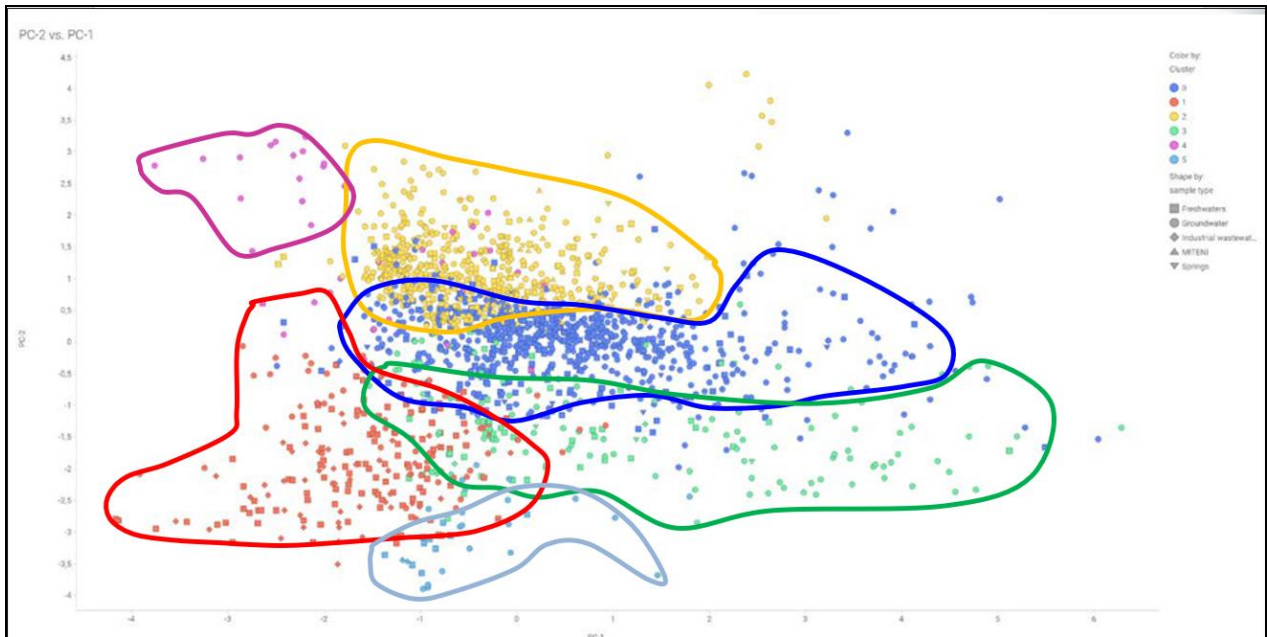


Fig. 5b : Identification de 6 produits d'origines via des analyses des Clusters PFAS (zone de 761 ha et 472 analyses des eaux souterraines et eaux superficielles dans le Nord-Est de l'Italie) [107, 108].

La Recherche de l'identité du ou des produits commerciaux susceptibles d'être à l'origine d'une contamination du sous-sol, sur la base de teneurs en PFAS mesurées par un nombre de PFAS réduits (Liste PFAS signature) dans les sols ou les eaux (souterraines, de surface ou d'assainissement), se basera sur des enregistrements préalables de spectres de PFAS individuels (Liste des PFAS étendue), en comparaison des pourcentages de PFAS individuels par rapport du total des PFAS (TOF : Total Organo Fluorine), cf. Fig. 6.

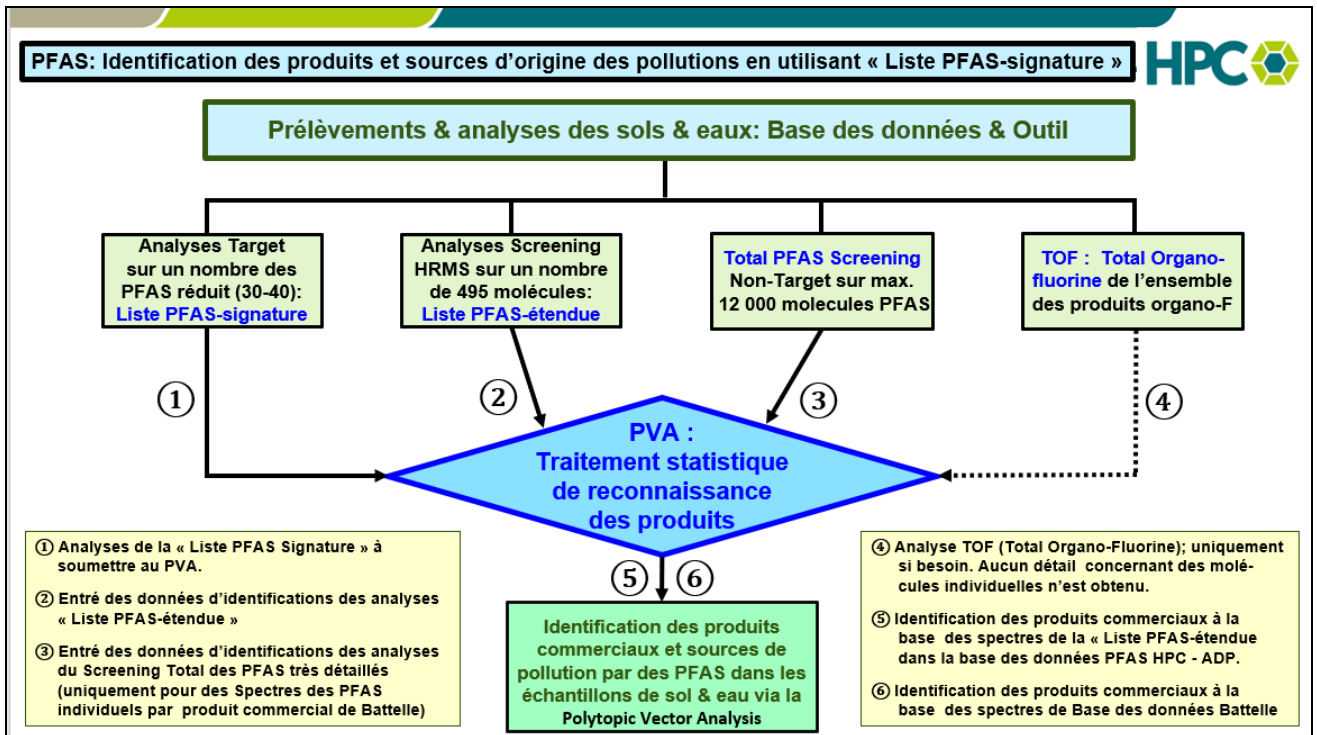


Fig. 6 : Principes de développement & fonctionnement de la Base des données HPC des PFAS (F. Karg et al. : 2023) [181]

L'identification des produits commerciaux contenant les PFAS nécessite aussi des études historiques d'applications des produits commerciaux des PFAS (comme également prévu dans l'Arrêté Ministériel de 2023 concernant la surveillance des émissions des PFAS, par ex. dans les eaux usées des ICPE :

- Des recherches bibliographiques ;
- Des visites sur les sites (potentiellement) pollués concernés ;
- Des entretiens avec les différents témoins.

Les données suivantes seront notamment recherchées :

- La nature des produits utilisés ;
- La période d'utilisation des produits ;
- Les lieux d'utilisation / de stockage des produits ;
- La fréquence d'utilisation des produits ;
- Les quantités annuelles consommées ;
- Les éventuels incidents recensés (déversement accidentel, incendie...) ;
- L'éventuelle réalisation de travaux de dépollution ou d'aménagement sur les sites potentiellement exposés.

Afin de définir des spectres des PFAS individuels des produits commerciaux et sources des pollutions des PFAS, les analyses chimiques de caractérisation sont les suivantes :

- « Analyses Non-target » quantitatives sur environ 500 molécules PFAS individuelles par Liquid Chromatography High Resolution Mass Spectrometry (LC-HR-MS ou HRMS) pour identifier une liste "Liste PFAS-signature" à partir une "Liste PFAS-étendue" (jusqu'à 500 PFAS individuels).
- Constitution d'une signature chimique suffisamment représentative des produits commerciaux analysés par des analyses non ciblées. Les analyses de PFAS totaux (ci-après dénommées "Total PFAS") peuvent être réalisées soit par un « Total Organofluoré (TOF : Total Organofluorine) qui n'apporte aucune information sur des molécules individuelles de PFAS, soit par un screening total afin d'identifier jusqu'à 12 000 molécules PFAS (ces analyses présentent un coût très élevé et ne sont donc pas envisagées systématiquement).

La construction de la base de données des spectres individuels de produits commerciaux de PFAS est réalisée comme suit (cf. Fig. 8) :

- Une « Base de données HPC » de spectres des molécules de produits commerciaux de PFAS à partir de Microsoft Access (ou Excel).
- Pour des Produits commerciaux échantillonnés sur les sites ou obtenus auprès des fournisseurs des produits commerciaux des PFAS et analysés en complément, environ 500 molécules PFAS individuelles ("Liste PFAS-étendue") seront enregistrées dans la Base de Données PFAS d'HPC.
- Pour les spectres des analyses de Produits PFAS commerciaux dégradés (vieillissements des Poly-fluorés par biotransformations) dans les lysimètres dotés des bactéries de biotransformation), leurs spectres sur au maximum 500 molécules PFAS individuelles ("Liste PFAS-étendue") seront également enregistrés dans la Base de Données PFAS d'HPC.
- **Les Chromatogrammes des Produits commerciaux et des Produits soumis au vieillissement analysés et recensés sont transformés numériquement et stockés dans la « Base de données HPC » sur Microsoft Access.**

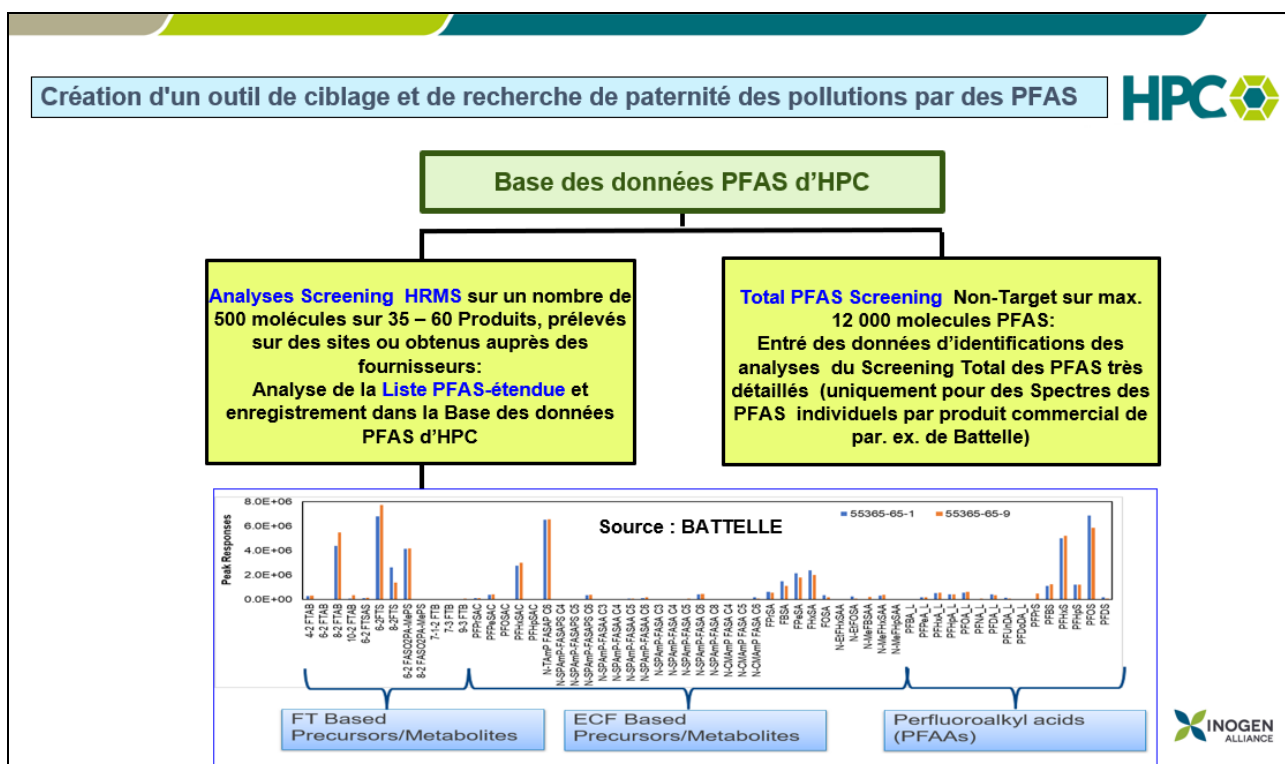


Fig. 7 : Base de données HPC des spectres moléculaires des produits commerciaux des PFAS d'HPC (F. Karg et al. : 2023) [181]

- La « Base de données PFAS d'HPC » sur Microsoft Access est supérieure à celle d'autres Data Banks, car elle intègre, en plus des spectres connus (Chromatogrammes

des PFAS), ceux de Produits Commerciaux soumis au vieillissement par Lysimètres et Biotransformation bactériologique des PFAS polyfluorés).

- Une liste de Queries (Requêtes possibles ou Paramètres d'identification, comme par ex. la reconnaissance des produits commerciaux à partir des relations des PFAS individuels de la « Liste PFAS-signature ») sera créée pour identifier les produits commerciaux à partir de la liste standard d'analyses des PFAS réduits (30 – 40 substances individuels = « Liste PFAS-signature »).

Les principes de l'identification des produits commerciaux et sources de pollutions des PFAS à l'origine sont démontrés dans les Fig. 8 – 10.

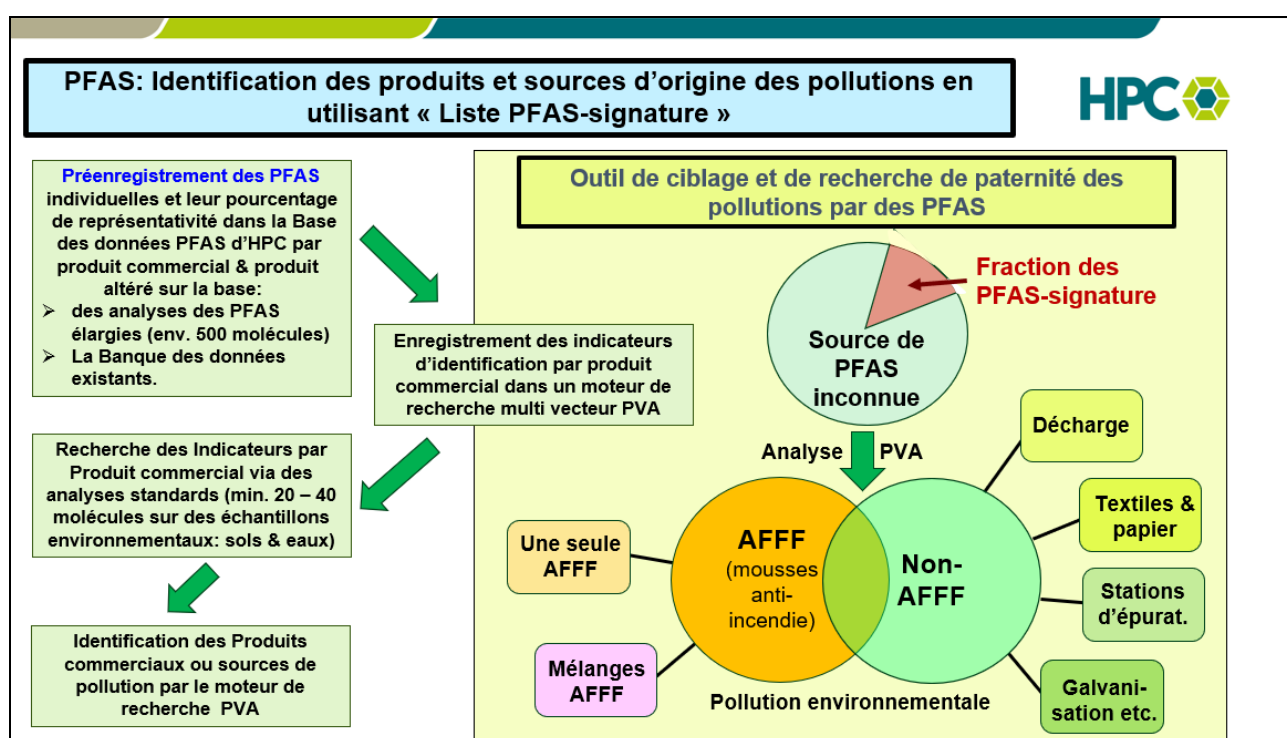


Fig. 8: Identification des produits PFAS initiaux dans les mélanges des produits commerciaux à l'origine des pollutions (1/3) (F. Karg et al. : 2023) [181]

Le programme d'identification concernant l'origine des produits commerciaux :

Le programme d'identification permet de faire la recherche concernant l'origine des produits commerciaux sur la base d'un nombre de PFAS individuels réduit dans les analyses des échantillons environnementaux (sols et eaux) à partir de la « Base des données PFAS d'HPC » sur Microsoft Access (ou Excel). Ceci inclue :

- Les résultats de recherche de distribution des concentrations attendues seront exprimés en % de la concentration totale attendue dans les sols ou dans les eaux souterraines, de surface ou d'assainissement (Fonction A).

- Recherche de l'identité du ou des produits commerciaux susceptibles d'être à l'origine d'une contamination du sous-sol.
- Le programme d'identification indique (sous la forme d'un tableau) la probabilité d'origine des pollutions dans les sols ou dans les eaux souterraines, de surface ou d'assainissement par rapport aux Produits commerciaux recensés dans la « Base de données PFAS d'HPC ».
- Dans le cadre des identifications probabilistes des origines d'une contamination aux PFAS, les Spectres (distributions chromatographiques des PFAS) des Produits commerciaux altérés et enregistrés dans la « Base de Données PFAS d'HPC » sont inclus.
- Le programme d'identification sur la « Base de données PFAS d'HPC » sera supérieur à ceux existants, car il utilise en plus des spectres existants aussi des spectres (Chromatogrammes des PFAS) des Produits Commerciaux soumis au vieillissement par Lysimètres et de la Biotransformation bactériologique des PFAS polyfluorés, etc.).

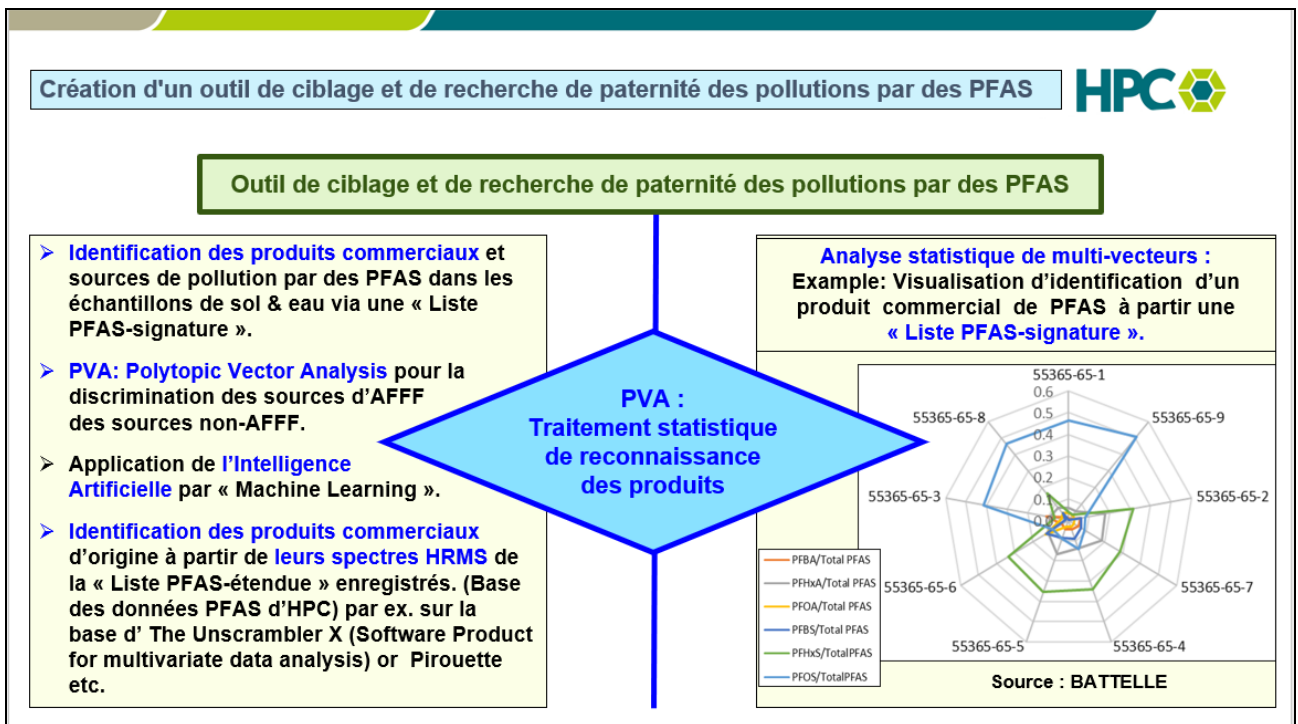


Fig. 9: Identification des produits PFAS initiaux dans les mélanges des produits commerciaux à l'origine des pollutions (2/3) (F. Karg et al. : 2023) [181]

- Le programme d'identification des produits commerciaux sera un modèle de classification statistique comme celui qui a été développé à l'origine par Batelle pour la détection des AFFF (et autres produits) dans des mélanges de différentes sources de PFAS. Ce modèle, sera aussi basé sur l'Intelligence Artificielle et, en particulier, sur l'approche du Machine Learning.

- L'application de l'Outil sera basé sur la présence et la quantification dans les échantillons analysés de composés PFAS restreints extrêmement stables dans les conditions environnementales, et qui caractérisent l'empreinte de l'AFFF ou d'autres sources de PFAS en supplément des programmes d'identification existants sur des PFAS perfluorés stables formés par la biotransformation de l'altération des produits commerciaux.
- Les résultats de l'application de l'Outil sont les probabilités que le mélange de PFAS trouvé dans un échantillon soit lié à certains produits commerciaux (ou sources de pollution).
- En utilisant la méthode statistique appelée PVA (Polytopic Vector Analysis = Analyse Vectorielle Polytopique), il est possible d'attribuer un pourcentage d'appartenance statistique (ou ressemblance) des échantillons environnementaux à chaque Produit commercial (ou source de Pollution).
- Les logiciels utilisés pour le développement de l'Outil sont R, Mathematica®, The Unscrambler® et Pirouette®.

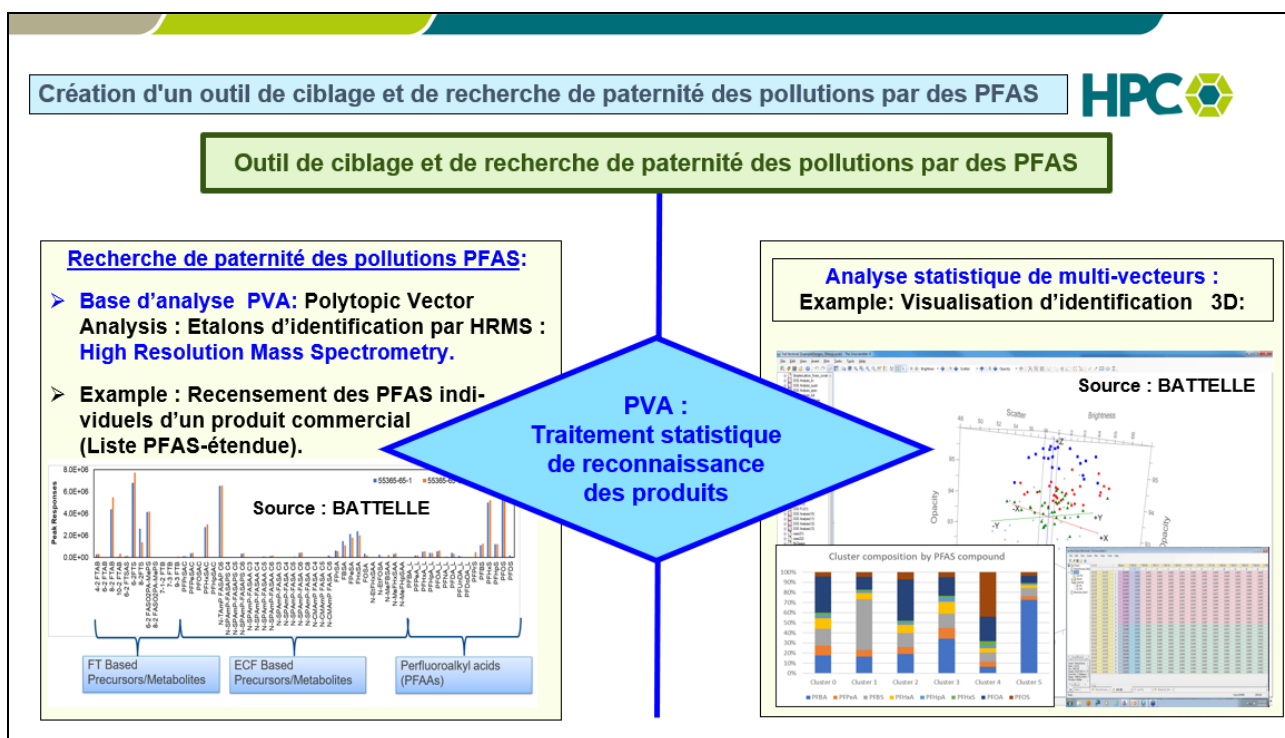


Fig. 10: Identification des produits PFAS initiaux dans les mélanges des produits commerciaux à l'origine des pollutions (3/3) (F. Karg et al. : 2023) [181]

La difficulté existante sont les spectres (Chromatogrammes) des Produits commerciaux dégradés par biotransformation des poly-fluorés vers des per-fluorés, car ces spectres en PFAS individuels sont différents des produits « frais » et aussi de ceux intégrés dans la Base des données HPC à partir des Databanks existants.

Pour surmonter cette difficulté de l'identification des produits commerciaux altérés dans les échantillons environnementaux (sols & eaux, analysés pour un nombre réduit de PFAS), la « **Base des données PFAS-HPC** » contiendra des Chromatogrammes élargis sur 500 PFAS individuels, représentant des spectres PFAS de Produits commerciaux soumis au tests de vieillissement dans les Lysimètres Ces tests seront réalisés via un consortium bactériologique réputé de la bio-transformation en question (du type Acidimicrobium sp. Strain A6 (Huang & Jaffé 2019) et/ou Pseudomonas strain SYC et/ou Rhodococcus jostii RHA1 et/ou Pseudomonas oleovorans (Ying Shi, 2018). C'est ainsi que des étalons représentatifs de mélanges commerciaux de PFAS seront obtenus par la simulation d'un vieillissement de plusieurs années.

De manière générale préalable, il est recommandé d'intégrer dans les diagnostics des contaminations par les PFAS au minimum les polluants suivants :

N°	Pollutant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes	Directive Européenne 2020/2184 Eau potable	Arrête Ministériel du 20/06/2023
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	Oui	Oui	Oui
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	Oui	Oui	Oui
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	Oui	Oui	Oui
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	Oui	Oui	Oui
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	Oui	Oui	Oui
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	Oui	Oui	Oui
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	Oui	Oui	Oui
8	Acide perfluoro-undecanoïque	PFUnDA	Oui	Oui	Oui
9	Acide perfluoro-dodecanoïque	PFDoDA	Oui	Oui	Oui
10	Acide perfluoro-tridecanoïque	PFTTrDA	Oui	Oui	Oui
11	Acide perfluoro-tetradecanoïque	PFTeDA	Oui	Non	Oui
12	Acide perfluoro-hexadecanoïque	PFHxDA	Oui	Non	Oui
13	Acide perfluoro-octadecanoïque	PFOcDA	Oui	Non	Oui
14	Perfluoro-butane-sulfonate	PFBS	Oui	Oui	Oui
15	Perfluoro-pentane sulfonate	PFPeS	Oui	Oui	Oui
16	Perfluoro-hexane sulfonate	PFHxS	Oui	Oui	Oui
17	Perfluoro-heptane sulfonate	PFHpS	Oui	Oui	Oui
18	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	Oui	Oui	Oui

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes	Directive Européenne 2020/2184 Eau potable	Arrête Ministériel du 20/06/2023
19	Perfluoro-nonane sulfonique	PFNS	Oui	Oui	Oui
20	Perfluoro-decane sulfonique	PFDS	Oui	Oui	Oui
21	Perfluoroundecane sulfonique	PFUnDS	Oui	Oui	Oui
22	Perfluorododecane sulfonique	PFDoDS	Oui	Oui	Oui
23	Perfluorotridecane sulfonique	PFTriDS	Oui	Oui	Oui
24	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOS 6:2-FTSA	associé au PFOS	Non	Oui
25	Acide Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA H4-PFOSA	Oui	Non !	Oui
26	6:2 Fluorotélomère alcool ou 2-perfluorohexyl ethanol (6 : 2)	6:2-FTOH, FHET	Oui	Non !	Oui
27	8:2 Fluorotélomère alcool ou 2-perfluorooctyl ethanol (8 : 2)	8:2-FTOH, FOET	Oui	Non !	Oui
28	Ammonium perfluoro (2-methyl-3-oxahexanoate) ou Acide Hexafluoro-propylèneoxydimer	HFPO-DA (Gen X)	Oui	Non	Oui
29	4,8-Dioxa-3H-perfluorononanoic acid ou Acide 3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy) propanoic	DONA, ADONA	Oui	Non	Non
30	Perfluoro([5-methoxy-1,3-dioxolan-4-yl]oxy) acetic acid	C6O4	Oui	Non	Non
31	1-Propanaminium, N-(carboxymethyl)-N,N-dimethyl-3-[[[(3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-tridecafluorooctyl)	1-PACMN- NDMTDeFO	Non	Non	Non
32	sulfonyl]-amino]-, hydroxide, inner salt	Capstone B	Non	Non	Non
33	6 :2-FTAB	Non	Non	Non	Non
34	N-methyl-perfluorooctan-sulfamid	N-MeFOSA	Non	Non	Non
35	N-ethyl-perfluorooctan-sulfamid	N-EtFOSA	Non	Non	Non
36	N-methyl-perfluorooctan-sulfamid-acetic acid	N- MeFOSAA	Non	Non	Non

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes	Directive Européenne 2020/2184 Eau potable	Arrête Ministériel du 20/06/2023
37	N-ethyl-perfluorooctan-sulfamid-eacetic acid	N-EtFOSAA	Non	Non	Non
38	8 :2-Fluortelome-sulfon acid	8 :2-FTS(A)	Non	Non	Non
39	9-Chlorhexadecafluor-3-oxanonan-1-sulfon acid	9Cl-PF30NS	Non	Non	Non
40	8 :2 Polyfluo-alkyl-phosphatdiester	8 :2-diPAP	Non	Non	Non

Fig. 11 : Paramètres d'analyses PFAS en minimum recommandés. Les PFAS en Jaune et orange ne sont pas (encore) intégrés dans la liste de la Directive Européenne 2020/2184 concernant l'eau potable et dans l'Arrête Ministériel du 20/06/2023, relatif aux émissions (eaux usées, etc.) ou selon de l'Arrête Ministériel du 20/06/2023 (AM-20/06/23).

A l'état d'aujourd'hui, l'analyse des 20 PFAS individuels de la Directive Européenne 2020/2184, pourra être réalisée mais également élargie à 40 PFAS individuels. :

Selon la Directive Européenne 2020/2184, qui concerne la qualité des eaux de consommation humaine, les 20 PFAS suivants sont ciblés :

Somme des 20 PFAS de la Directive européenne Eau potable 2020 :

- Acide perfluorooctanoïque (PFOA) [5347]
- Acide perfluoroheptanoïque (PFHpA) [5977]
- Acide perfluorohexanoïque (PFHxA) [5978]
- Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)[5979]
- Acide perfluorobutanoïque (PFBA) [5980]
- Acide perfluorobutane sulfonique (PFBS) [6025]
- Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA) [6507]
- Acide perfluorononanoïque (PFNA) [6508]
- Acide perfluorodécanoïque (PFDA) [6509]
- Acide perfluoroundécanoïque (PFUnDA) [6510]
- Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS) [6542]
- Acide perfluorotridecanoïque (PFTrDA) [6549]
- Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS) [6550]
- Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS) [6561]
- Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS) [6830]
- Acide perfluoropentane sulfonique (PFPeS) [8738]
- Acide perfluorononane sulfonique (PFNS) [8739]
- Acide perfluoroundécane sulfonique [8740]
- Acide perfluorododécane sulfonique [8741]
- Acide perfluorotridécane sulfonique [8742]

Dans cette liste les FTOH (Fluortéломère alcools) manquent...

Evaluation des Risques Toxicologiques et valeurs réglementaires :

En rappel, des toxicités multiples ont été prouvés pour des PFAS [27 – 87, 184 - 193]. Le tableau suivant donne un résumé des effets toxicologiques concernant quelques PFAS prioritaires, selon l’US-EPA (2016 – 2022) [84].

PFAS	Hepato-toxique	Developpement 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
--	------------------------------------	--	-------------------	--	---------------

Pour l'évaluation des risques sanitaires, des données toxicologiques (VTR : Valeurs Toxicologiques de Référence) sont à chercher et à actualiser en niveau international quasiment de façon hebdomadaire. Les VTR les plus récents sont disponibles surtout aux USA (EPA...), ATSDR et l’EFSA [45, 85, 99, 165]. L’ANSES avait publié aussi en 2017 des VTR des PFAS, mais vu l’avancement forcé des études toxicologiques ces VTR **sont dans une grande partie dépassées.**

Le Schéma suivant montre l'évolution des VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence = Valeurs de relation Dose à effet) pour le PFOA et le PFOS au sein de l’ECHA et vis-avis de l’US-EPA. Il faudra observer que les VTR applicables pour les EQRS (Evaluations Quantitatives des Risques Sanitaires) sont devenues entre 2008 à 2020 un facteur de 2 700 plus sévères (!) en ce qui concerne l’EFSA et d’un facteur de 27 000 pour le PFOS ainsi que d’un facteur de 1 000 000 plus sévères par rapport à la US-EPA (!!)(Fig. 13 / F. Karg et all. 2023) [181].

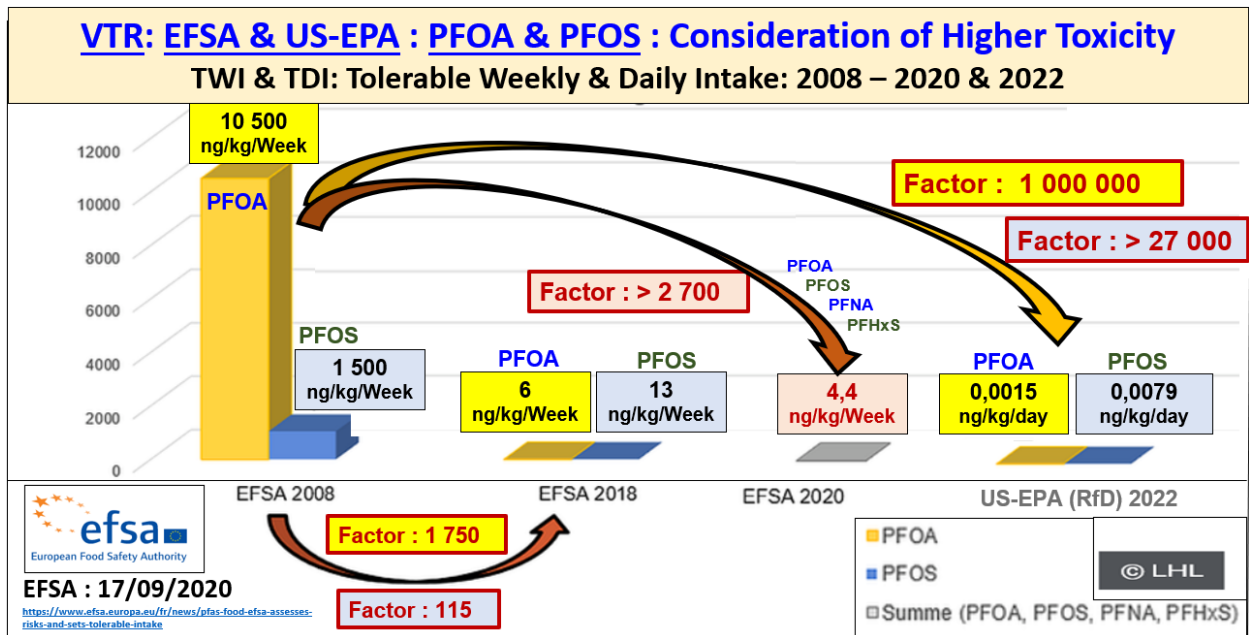


Fig. 13 : Evolution des VTR (Valeurs Toxicologiques de Reference de PFOA et de PFOS) entre 2008 et 2022 selon EFSA (European Food Safety Authority) et US-EPA (Environmental Protection Agency of the United States of America), F. Karg et all. 2023) [181].

Dans le cas des FTOH présents dans les Sols, eaux souterraines et Gaz du sol, il faudra impérativement réaliser aussi les investigations des FTOH dans l’Air ambiant des bâtiments aux usages sensibles (ERP : Ecoles, Crèches, etc.) ou résidentiel, sur une base des seuils de quantification (ou au moins pour les seuils de détection), ne pas plus élevé, que 4 – 8 ng/m³, afin de posséder une bonne base exploitable pour les EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires.

Une première approche d’évaluation des risques simplifié est possible via des valeurs limites existantes, comme par ex. en Allemagne ou publiées par la Communauté Européenne. En Allemagne il existe des Valeurs limités pour l’eau potable, pour les sols et pour les eaux souterraines (cf. Fig. 14).

La US-EPA considère, que la plus grande partie des expositions provienne aujourd’hui de l’eau potable en dehors les sites pollués, du fait de l’absence de surveillance et du traitement contre les PFAS.

Selon la Directive (UE) 2013/39/UE « Cadre sur l'eau » européenne (DCE), concernant le PFOS & dérivés (et pour d’autres substances prioritaires) une Norme de Qualité Environnementale (NQE-MA) de 0,65 ng/l pour les Eaux superficielles et de 0,13 ng/l pour les Eaux du milieu marin (et des NQE-CMA: Concentrations Maximales Admissibles) sont fixées.

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

Fig. 14 : Valeurs limitées pour l'eau potable et les eaux souterraines en Allemagne (UBA 2016)

Il faut annoter, qu'en Allemagne existe aussi des Valeurs limites pour les sols, qui sont exprimés en fractions lixiviables des PFAS [158 – 160].

Le 07/12/2022, la Commission Européenne a mis en place des seuils maximum pour les PFAS dans certains aliments pour application à partir de le 1^{er} janvier 2023. Ces teneurs maximales sont précisées dans le nouveau règlement (UE) 2022/2388. Le tableau suivant (Fig. 15) montre de façon très simplifiée ces valeurs (pour les détails il faut se référer à l'original []) En [µg/kg] (Tableau simplifié)

Denrées alimentaires		PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	Somme de PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS (*) (**)
10.1	Œufs	1,0	0,30	0,70	0,30	1,7
10.2.1.1	Chair musculaire de poisson	2,0	0,20	0,50	0,20	2,0
10.2.1.2	Chair musculaire de poisson (autres)	7,0	1,0	2,5	0,20	8,0
10.2.1.3	Chair musculaire de poisson (autres)	35	8,0	8,0	1,5	45
10.2.2	Crustacés et mollusques bivalves	3,0	0,70	1,0	1,5	5,0
10.3.1	Viandes de bovin, de porc et de volaille	0,30	0,80	0,20	0,20	1,3
10.3.2	Viandes de mouton	1,0	0,20	0,20	0,20	1,6
10.3.3	Abats de bovin, de mouton, de porc et de volaille	6,0	0,70	0,40	0,50	8,0
10.3.4	Viandes de gibier, à l'exclusion des viandes d'ours	5,0	3,5	1,5	0,60	9,0
10.3.5	Abats de gibier, à l'exclusion des abats d'ours	50	25	45		

Fig. 15 : Seuils maximum pour les PFAS dans certains aliments selon le règlement (UE) 2022/2388. (Le tableau suivant montre de façon très simplifiée ces valeurs en) [µg/kg] 158 - 160]

Par ailleurs un nouvel Arrêté ministériel en 2023 demande la surveillance des eaux usées et des études historiques d'utilisation des PFAS pour env. 5 000 établissements ICPE en France, afin de prévoir des diagnostics des pollutions en sous-sol.

Il est important d'annoter, qu'une simple application des Valeurs limites, génériques et individuelles dans le cadre d'une évaluation simplifiée des risques ne prend pas en compte les scénarios d'expositions spécifiques et non plus les expositions aux mélanges (« Cocktails ») des polluants avec au minimum d'une prise en compte de l'additivité des risques des polluants du mélange concernent les mêmes cibles et effets toxicologiques. Par conséquent, il faut mieux appliquer les EQRS (ou ARR, HRA, TERQ), ce qui correspond bien à la Méthodologie Française de Gestion des Sites Pollués, selon le Ministère en charge de l'Environnement, du 19/04/2017.

Un autre aspect important est le fait que seulement via une EQRS (ou ARR, TERQ, HRA) il est possible de définir des Valeurs de Contrôle de conformité sanitaire, sous forme des CMA (Concentration Maximale Acceptable) pour des Excès des Risques Individuels (de cancer) maximalement acceptables : $ERI \leq 10E-5$ ou d'un Indice de Risque systémique de $IR \leq 1$ (= DJE / DJT : Dose Journalier d'Exposition par rapport à la Dose Journalière Tolérable).

Concernant les EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires, la base est soit la mesure des concentrations dans les milieux d'exposition ou la modélisation du transfert des polluants d'un compartiment à l'autre (par ex. des polluants dans les eaux souterraines ou du sol vers les gaz du sol et de l'air ambiant [115 - 133]).

Une étape importante de l'EQRS est le **choix des VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence)**, car leur évolution est rapide. Par ex., un bon guide PFAS de l'ANSES de 2017 comporte certaines VTR pour les PFAS, mais vu les nombreuses publications des VTR jusqu'à aujourd'hui, ces valeurs sont partiellement dépassées, car aujourd'hui elles sont devenues beaucoup plus sévères. Une **Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT)** de 4,4 ng/kg/Semaine (ou la Dose Journalier Tolérable (DJT) de 0,63 ng/kg/j pour des PFAS : PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS) a été publiée par l'EFSA, le 17/09/2020. En 2020 des **facteurs d'équivalence de toxicité** par rapport au PFOA ont été aussi publiés par W. Bil et al. sous forme des **RPF : Relative Potency Factors** (cf. Fig. 16).

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
PFTTrDA*	$0.3 \leq RPF \leq 3$
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.

Fig. 16 : Facteurs d'équivalence de toxicité sous forme des RPF : Relative Potency Factors (W. Bil et al. 2020) [170 - 171].

Afin d'assurer le bon choix des VTR des PFAS, il est à recommander d'appliquer des critères de choix scientifiques et ne pas des critères nationaux. Le tableau suivant montre des critères de choix des VTR applicables, afin de prendre en compte les meilleures connaissances toxicologiques concernant les relations de dose à effet des PFAS.

N°	Toxicological Reference Dose (TRD) : 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 organism	
3	Several Organisms shows similar TRD (+/-50%)	3 organisms	2 organisms	1 organism	
4	Age of base Study	≤ 15 y	15-25 y	> 25 y	
5	Mechanistic toxicological basement Study (for ex. Genotoxicity)	Epidemiology	In vivo	In-Vitro/In- sillico	
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	Point of Departure (POD)	Quantified Epidemiological Data, BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL sensitive NOAEL	LOAEL sensitive, LOAEL, Other	
12	Uncertainty (or Assessment) Factors	1 – 100	> 100 – 1000	> 1000 – 10000	> 10000
13a	Transpositions: Between Exposure Pathways	No		Yes	
13b	Transpositions: Animal to Human	No	Yes		
13c	Transpositions: From in-Vitro	No		Yes	
13d	Transpositions: From in-Sillico	No		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 19738)	Yes	Not known (100%)	Known, but not considered	

Fig. 17 : Critères de choix qualitatifs des VTR applicables dans les cas de présence de plusieurs VTR (F. Karg, 2022a-c, 2023 & C. Rousselle & F. Karg, 2023 et al.): [138, 180, 181, 207]

En se basant sur des critères de choix, il est possible de choisir par ex. les **VTR** indiquées en Fig. 18 en 2023. Il est important de prendre en compte, que les Administrations de certains états US-américaines sont très avancés dans la recherche toxicologique et la publication des VTR concernant des PFAS, du fait de leur forte présence d'industrie chimique et pétrolière (avec les fortes utilisations historiques des AFFF) ou de la forte présence des grandes décharges industrielles (et les pollutions environnementales associées). Il s'agit notamment des états de Texas, de Michigan et de New Jersey. Ces VTR sont souvent les bases pour les publications des VTR des PFAS de la US-EPA fédérale.

Sub.	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sigle	Security Factor	Organization
		Exposure pathway	Target organ	Value				
PFBA	NC	oral	Hepatic	1 ng/kg/d	Rat	RFD	NOAEL / 2400	TCEQ 2023
		inhalation	Hepatic	3,5 ng/m ³	Rat	RFC	From oral value	TCEQ 2023
PFPeA	NC	oral	Hepatic	0,5 ng/kg/d	Rat	RFD	Same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2023
PFHxA	NC	oral	Hepatic	0,5 ng/kg/d	Rat	RFD	Same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2023
PFHpA	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rat	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017
PFOA	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rat	TDI	BMDL 5	UBA 2023 BFR & EFSA 2018
			Hepatic, Mammary glands and Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RFD	LOAEL (81*100)	TCEQ 2016
		inhalation	Hepatic	4,1 ng/m ³	Rat	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	Mice	RFD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampshire DES 2019
		inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m ³	Rat	RFC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2023

Sub.	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sigle	Security Factor	Organi-zation
		Exposure pathway	Target organ	Value				
PFDA	NC	oral	Hematologic	15 ng/kg/d	Rat	RFD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
		inhalation		53 ng/m3	Rat	RFC	From oral value	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 mg/kg/d	Rat	RFD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,9 mg/m3	Rat	RFC	From oral value	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and thyroidal	3,8 mg/kg/d	Rat	RFD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
		inhalation	3,8 mg/kg/d	13 ng/m3	Rat	RFC	From oral value	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rat	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BFR 2018
PFOS	NC	oral	Thyroidal, neurological and foetal development	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020, EFSA 2018, BFR 2018
		inhalation		81 ng/m3	Rat	RFC	From oral value (23 ng/kg/d)	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/m3	Rat	RFC	Same than PFOA NOAEL(81*300)	TCEQ 2016

Fig. 18: Choix de certains VTR selon les critères en Fig. 17 (F. KARG 2022 - 2023) [138 , 180 ,181]:

- ANSES: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (2017)
- ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- EFSA: European Food and Safety Authority
- 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
- 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
- W. Bil et al. 2020 : Toxicological Equivalence factors on PFOA RfD

Les toxicités des Fluortéломèrealcools (FTOH) sont bien connues et comparables aux autres PFAS [184 - 193]. Les FTOH volatils (donc avec une potentielle présence dans les gaz du sol et de l'air ambiant), selon les critères de choix, des VTR suivants pourront être appliqués :

Compound FTOH	Inhalation Systemic	Ingestion Systemic	Considered Effect	Tests	Uncertainty (Security) Factor	Reference
6:2 FTOH: Fluorotelomer alcohol	Transposition of RfD necessary (for ex. based on 20 m ³ /j of 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 of RfD necessary (for ex. based on 20 m ³ /j of 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)

Fig. 17 : Choix de certaines VTR selon les critères de la Fig. 17 [195]

Une étape complémentaire de l'EQRS (ou ARR, TERQ, HRA) est la définition des Valeurs de contrôle de conformité sanitaire, sous forme des CMA (Concentrations Maximales Admissibles) en intégrant une additivité des risques des polluants concernant les mêmes cibles et effets toxicologiques, pour des Excès des Risques Individuels (de cancer) maximalement acceptables : $ERI < 10E-5$ ou d'un Indice de Risque systémique de $IR < 1$ (= DJE / DJT : Dose Journalière d'Exposition sur Dose Journalière Tolérable). Les CMA sont couramment utilisées sous forme de Valeurs de contrôle sanitaire, afin de vérifier ou de co-élaborer les objectifs des mesures correctives, voire des objectifs de dépollution. Les mesures de Gestion, comme par ex. la dépollution sont basés en France sur un Plan de Gestion, une définition des Zones Sources des pollutions concentrées puis un Bilan Coût-Avantages des modalités et technologies différentes de gestion et des traitements assurant une conformité sanitaire, des risques toxicologiques acceptables.

La plus grande inconnue dans les effets des mélanges par des PFAS concerne la grande partie des PFAS poly-fluorés. Il est recommandé d'appliquer les analyses des PFAS (28 – 40 molécules, cf. aussi l'Arrêté Ministériel en France du 20/06/2023) avant et après le « Top Assay ».

Le « Top Assay » (Total Oxidizable Precursor) transforme les PFAS poly-fluorés vers les PFAS perfluorés (Fig. 4a & b). Dans l'environnement, l'ensemble des PFAS poly-fluorés (Precurseurs) sont bio-transformés vers les PFAS per-fluorés stables. Via le « Top Assay » il est possible d'intégrer dans l'évaluation des risques sanitaires immédiatement les PFAS per-fluorés,

produits des bio-transformations dans un scénario d'exposition. Par contre, il ne faut pas se contenter de réaliser l'évaluation des risques sanitaires uniquement sur les PFAS per-fluorés après le « Top Assay », car les effets avec-seuil de dose de certains PFAS poly-fluorés pourront être importants dans les expositions sub-chroniques et chroniques, comme par ex. concernant les PFAS volatils (FTOH : fluorotéломère-alcools, etc.) [Karg 2023c].

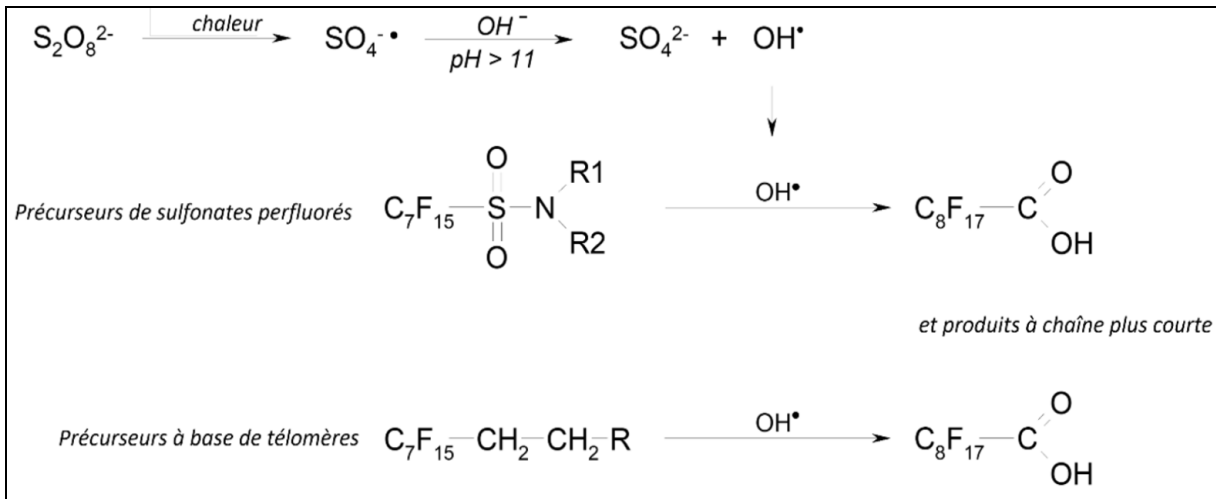


Fig. 18a : Top Assay (Total Oxidizable Precursor) analyse de la quantité totale de précurseurs (PFAS poly-fluorés) oxydables via persulfate (Houtz et Sedlak : 2012)

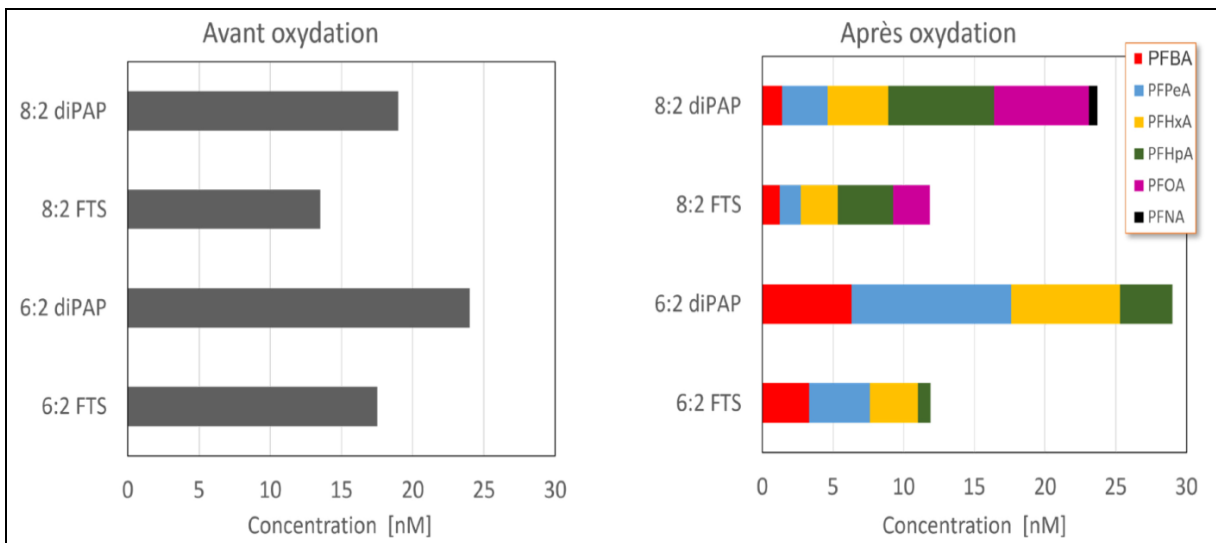


Fig. 18b : Top Assay : Exemple de quantification des PFAS poly-fluorés via leurs acides carboxyliques perfluorés finaux correspondants après dégradation (Houtz et Sedlak : 2012), à prendre en compte dans une EQRS.

6. Traitements des pollutions par des PFAS et notamment par les FTOH

La réhabilitation microbiologique n'est pas possible actuellement. La **réhabilitation des sols** comprend l'excavation et l'élimination ou l'incinération hors site, le lavage des sols, la stabilisation et les confinements (y compris la mise en décharge contrôlée ISDND & ISDD). Dans le cas des pollutions par des PFAS les traitements sont souvent assez coûteux, notamment dans le cas des aménagements des sites, car l'élimination des terres excavées n'est pas facile en point de vue de faisabilité économique. Par contre il existe des solutions des traitements in-situ, comme par ex. **le lavage in-situ par des Bio-polymères protéiniques (Fig. 10b) ou l'immobilisation in-situ via le Charbon actif colloïdal (Fig. 10a) ou l'injection sous pression du GAC (Granulated Activated Carbon) [F. Karg et al. : 140, 145, 177, 179, 180, 182].**

Dans toutes les cas une étude de faisabilité technico-économique est nécessaire, mais ces traitements in-situ pourront économiser des millions d'euros dans le cas des dépollutions du fait que les excavations et pompages des eaux ne sont pas nécessaires. **Dans le cas des aménagements des sites, le lavage in-situ par des Bio-polymères protéiniques (Fig. 18b) pourra se réaliser aussi sur-le site pour des terres à excaver (par ex. pour la construction des nouvelles fondations) [F. Karg et al. : 140, 145, 182].**

Concernant la **dépollution des eaux souterraines** des solutions in-situ existent, afin d'éviter les dépollutions trop onéreuses par P&T (Pompage et Traitement). Ces traitements in-situ sont par ex. l'application des charbons actifs colloïdaux dans les aquifères. Les applications in situ pour les eaux souterraines sont possibles mais ont besoin aussi d'une **étude de faisabilité technico-économique** (cf. Fig. 18a & b) .

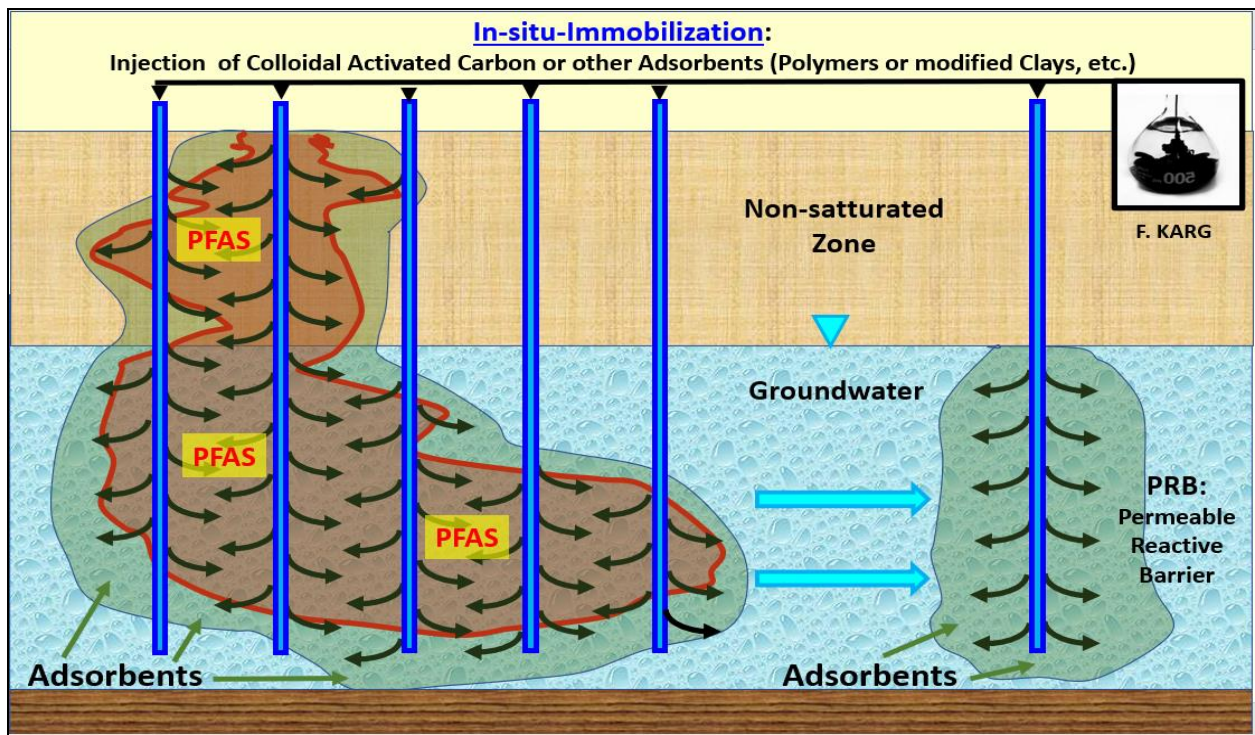


Fig. 18a : Application des traitements in-situ par Charbon actif colloïdal de Type B (F. KARG 2021-2022) [138, 177, 180]

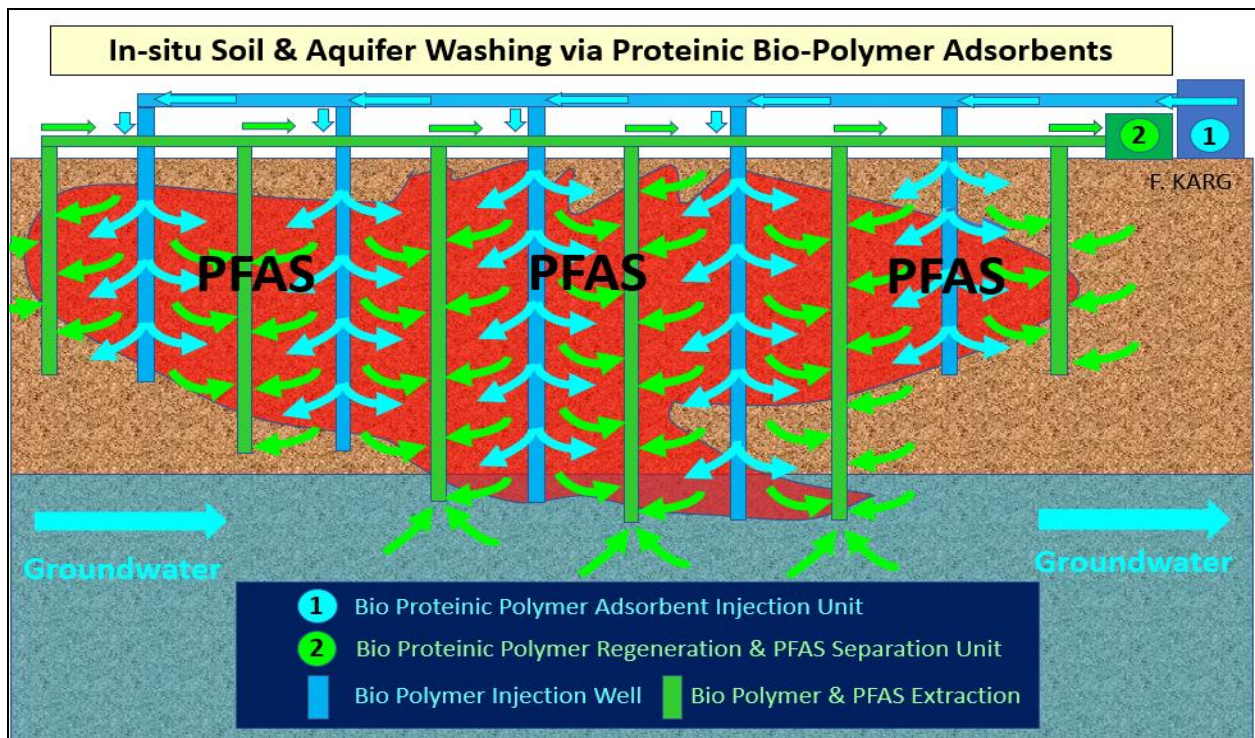



Fig. 18b : Application des traitements in-situ par Lavage in-situ via des Bio-polymères protéiniques.; Karg et al. 2023) [180, 182]

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



HPC INTERNATIONAL SAS

Some operative Treatment Technology examples (GW & Leachate):

Groundwater & Soil Washing Leachate: Adsorption on Protein-Polymers & RemBind (Kaolinites, Humic acids), chemical Coagulation by Al(OH)_x (in- & ex-situ): SENSATEC

<p>➤ Adsorption on Liquid Activated Carbon (in & ex-situ): Regnesis + Others</p>	<p>➤ Concentrations by air/water Interface Foam (ex-situ): ALLONIA</p>	<p>➤ Concentrations by biodegradable Flocculant (ex-situ): Cornelsen/TRS</p>	<p>➤ Modified Clay Adsorbents (ex-situ): CETCO & ETEC2</p>
------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------


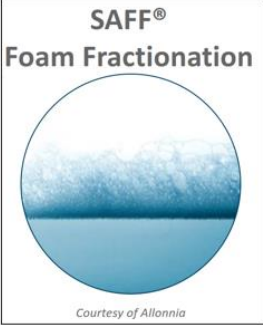


 <p>Courtesy of Regenesis</p>	 <p>Courtesy of Allonia</p>	 <p>Courtesy of Cornelsen/TRS</p>	 <p>Courtesy of CETCO</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 19 : Technologies des traitements différents des eaux [138, 177].

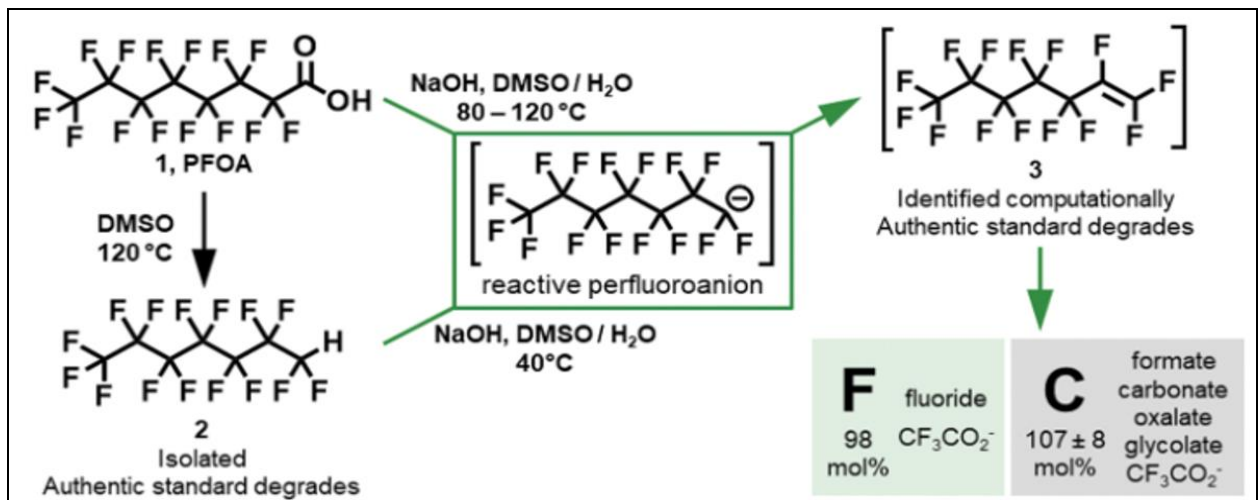


Fig. 20: Minéralisation à basse température : Applicable pour des lixiviats des lavages des sols, et des eaux usés et traitement des lixiviats par défluoration de NaOH et minéralisation à basse température à 80 - 100 °C de carboxylique contenant du PFAS (Brittany TRANG et al. 2022) [142].

Dans les eaux superficielles, les PFAS pourront aussi être piégés par l'adsorption via des microalgues [138].

Les traitements des pollutions par des PFAS volatils sous forme des FTOH, surtout dans l'emprise des ERP sensibles (Etablissements recevant le public), comme les écoles et les crèches et même dans les zones résidentielles, pourront être réalisés par des aspirations des Gaz du sol (SVE : Soil Vapor Extraction ou Venting, mais avec des traitements adaptés des gaz d'évacuation) ou par des dispositifs constructifs de gestion.

Les dispositifs constructifs de gestion dans le cas de pollution par des FTOH (PFAS volatils) pourront être **moins onéreux**, comme par ex. :

- **Etanchéification à l'intérieure des bâtiments (par ex. des ERP ; écoles et crèches, etc.) + une ventilation des vides sanitaires (et/ou des éventuels drainages des gaz)** et la surveillance de l'air ambiant. Les Fig. 20 & 21 montrent des dispositifs constructifs de gestion possibles.
- Dans certains cas la **dépollution des Gaz du sol** et nécessaire du fait de la présence significative des PFAS volatils ou leurs précurseurs (FTOH ou PAP), par ex. par Venting-SVE. intégré dans les bâtiments (cf. Fig. 22a & b).

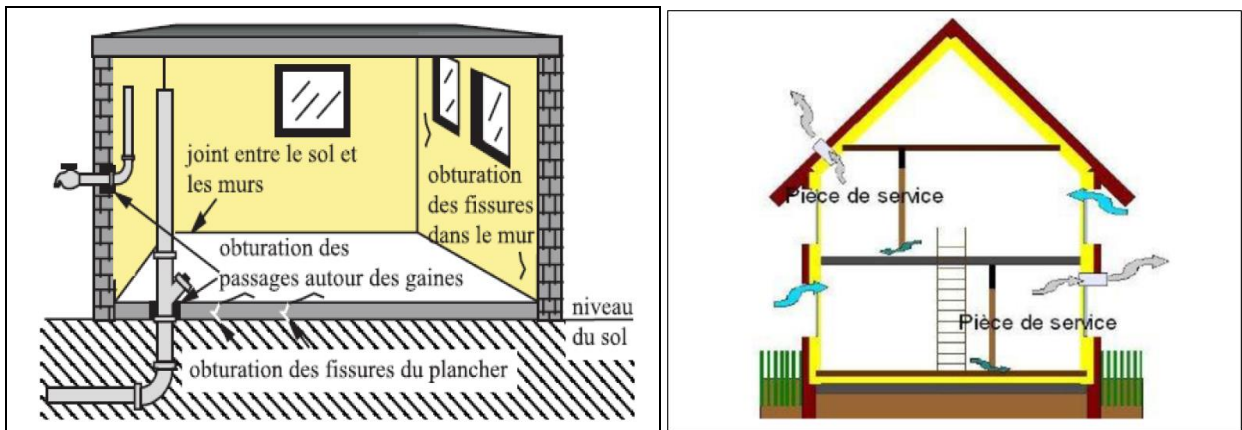


Fig. 20a & b: Exemple des dispositifs constructifs de gestion possibles (ROBE & BRGM 2014) [137, 138] Ventilation naturelle par balayage [137, 138].

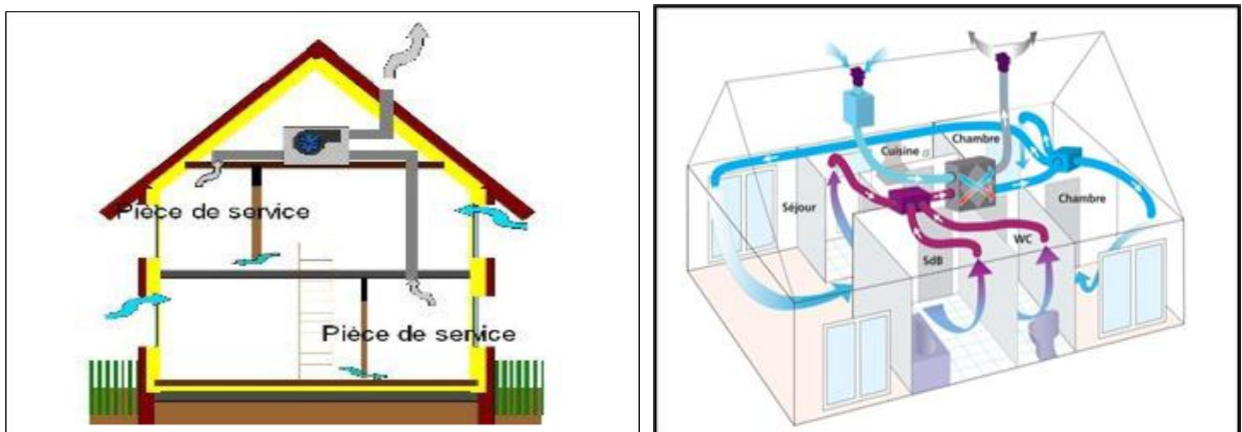


Fig. 21c & d : Ventilation à VMC simple flux à balayage et Ventilation à VMC double flux [137]

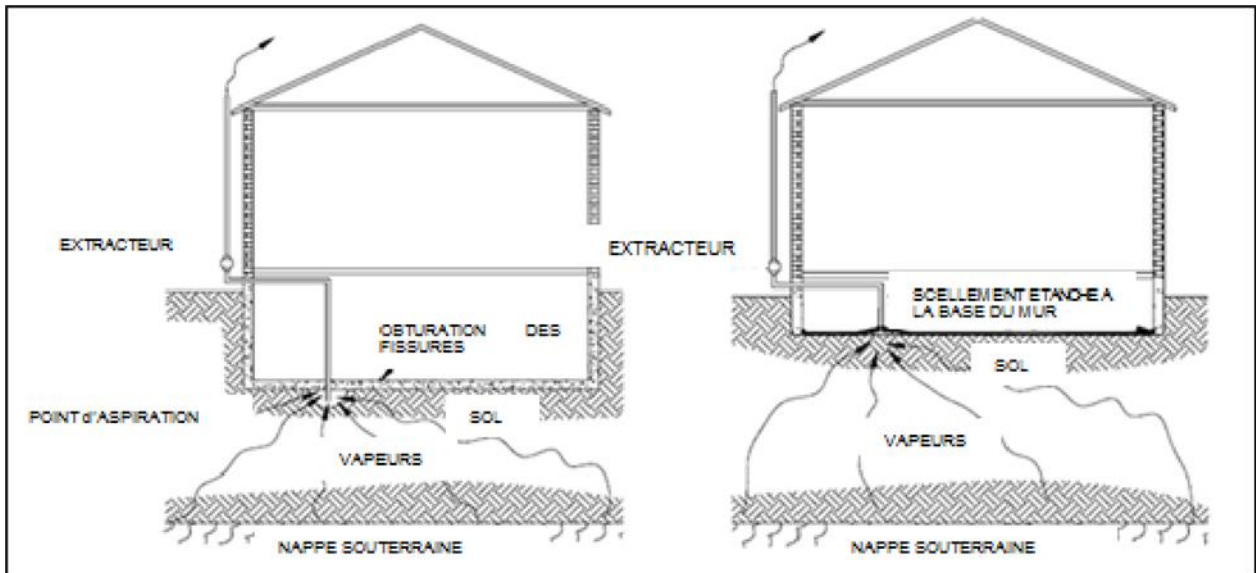


Fig. 22a & b : Dépollution et/ou prévention par Venting sous forme de Dépressurisation sous-sol (SDS) et dépressurisation Sous Dalle par extraction des gaz et vapeurs des polluants de type FTOH & COV (SDSD) [137]

Les Fig. 23a-h montrent des mesures constructives des étanchéifications contre des intrusions dans les bâtiments des FTOH et COV et les Fig. Les Fig. 24a-d montrent des dispositifs constructifs de dépollution et de prévention possibles via des drainages des gaz (drainages conduites et drainages sous forme des tapis).

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

HPC
INTERNATIONAL

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 <u>Spraying</u>	Et. des fondations



Fig. 23a-h : Mesures constructives des étanchéifications contre des intrusions dans les bâtiments des FTOH et COV [138]

Dans le cas des dépassements des CMA et en Prévention**→ II. Mesures constructives: Drainages des Gaz**

Fig. 24a-d : Dispositifs constructives de dépollution et de prévention possibles via des drainages des gaz (drainages conduites et drainages sous forme des tapis), Gendrin et al. 2011

7. Conclusion

Il existe plus entre 9 000 à 12 000 composés per- et poly-fluoroalkyles PFAS, Ils sont très solubles mais aussi bio-accumulables et dans la plupart des cas non-volatils, à l'exception des FTOH volatils, les Alcools fluorotélomères. Les PFAS poly-fluorés sont bio-transformés en PFAS per-fluorés stables et souvent plus toxiques (PFOA, PFPA, PFHxA, PFHpA, etc.).

Il existe des milliers de sites pollués par les PFAS. Il s'agit des sites de la lutte contre l'incendie (comme sur les **Aéroports...**), des multiples (anciennes) sites industriels, des terres agricoles ayant reçus des boues de STEP, etc. **Des panaches de pollution dans les eaux souterraines** sont très vite considérables.

Des **investigations** des sites et des **évaluations quantitatives des risques sanitaires** (EQRS, ARR, TERQ, HRA, etc.) sont nécessaires dans les cas des présences des contaminations PFAS et notamment dans les sols, les eaux souterraines, les Gaz du sol et de l'Air ambiant. Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économiques. Des traitements in-situ existent, comme par ex. le lavage in-situ par des Bio-polymères protéiniques ou des Immobilisations via le charbon actif colloïdal ou des injections de charbon granulométrique sous haute pression (GAC), mais ces technologies demandent des études de faisabilité technico-économiques au préalable. **Une liste minimum des PFAS à investiguer lors des diagnostics de pollution et des évaluations des risques sanitaires est recommandée.**

8. Références

1. ITRC (2020): History and use of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): New Jersey Department of Environmental Protection. https://pfas-1.itrcweb.org/fact_sheets_page/PFAS_Fact_Sheet_History_and_Use_April2020.pdf
2. NIOSH (2022): Per- and polyfluoroalkyl Substances (PFAS). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 15. September 2022. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/pfas/default.html>
3. NIEHS (2022): Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). National Institute of Environmental Health Science. 29. July 2022. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/pfc/index.cfm>
4. Buck, R.C.; Franklin, J.; Berger, U.; Conder, J.M.; Cousins, I.T.; de Voogt, P.; Jensen, A.A.; Kannan, K.; Mabury, S.A.; van Leeuw, S.P.J. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integr. Environ. Assess. Manag.* **2011**, *7*, 513–541.
5. 3M Voluntary Use and Exposure Information Profile for Perfluorooctanoic Acid and Salts: USEPA Administrative Record AR226-0595.2000. Available online <https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OPPT-2002-0051-0009>
6. USEPA. EPA and 3M Announce Phase out of PFOS: Available online: https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html
7. Maga, D.; Aryan, V.; Bruzzano, S.: Environmental assessment of various end-of-life pathways for treating per- and polyfluoroalkyl substances in fire extinguishing waters. *Environ. Toxicol. Chem.* 2020. <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.4803>
8. Barbarossa, A.; Masetti, R.; Gazzotti, T.; Zama, D.; Astolfi, A.; Veyrand, B.; Pession, A.; Pagliuca, G. Perfluoroalkyl substances in human milk: A first survey in Italy. *Environ. Int.* **2013**, *51*, 27–30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412012002188?via%3Dihub>
9. Directive (UE) 2013/39/UE « Cadre sur l'eau » européenne (DCE), concernant le PFOS & dérivés (et pour d'autres substances prioritaires) <https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
10. US EPA. EPA and 3M Announce Phase out of PFOS. Available online: https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html
11. Chen, H.; Peng, H.; Yang, M.; Hu, J.; Zhang, Y. Detection, occurrence, and fate of fluorotelomer alcohols in municipal wastewater treatment plants. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 8953–8961. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b00315>
12. Martin, J.W.; Mabury, S.A.; O'Brien, P.J. Metabolic products and pathways of fluorotelomer alcohols in isolated rat hepatocytes. *Chem. Biol. Interact.* **2005**, *155*, 165–180. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009279705001754?via%3Dihub>
13. Backe, W.J.; Day, T.C.; Field, J.A. Zwitterionic, cationic, and anionic fluorinated chemicals in aqueous film forming foam formulations and groundwater from U.S. military bases by nonaqueous large volume injection HPLC-MS/MS. *Environ. Sci. Technol.* **2013**, *47*, 5226–5234. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es3034999>
14. European Parliament. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006. *Off. J. Eur. Union* **2006**, *372*, 32–34.
15. UNEP (United Nations Environmental Programme). Report of the Conference of the Parties of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the Work of Its Fourth Meeting. Available online: <http://chm.pops.int/TheConvention/ConferenceoftheParties/Meetings/COP4/COP4Documents/tabid/531/Default.aspx>.
16. Stoiber, T.; Evans, S.; Naidenko, O.V. : Disposal of products and materials containing per and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A cyclical problem. *Chemosphere* **2020**, *260*, 127659. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520318543?via%3Dihub>
17. Solo-Gabriele, H.M.; Jones, A.S.; Lindstrom, A.B.; Lang, J.R. : Waste type, incineration, and aeration are associated with per- and polyfluoroalkyl levels in landfill leachates. *Waste Manag.* **2020**, *107*, 191–200. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20301458?via%3Dihub>

18. US EPA. Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Incineration to Manage PFAS Waste Streams Background. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-09/documents/technical_brief_pfes_incineration_ioaa_approved_final_july_2019.pdf
19. Avendaño, S.; Liu, J. Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. *Chemosphere* **2015**, *119*, 1084–1090. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514011345?via%3Dihub>
20. Eggen, T.; Moeder, M.; Arukwe, A. Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 5147–5157. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969710007436?via%3Dihub>
21. Lang, J.R.; Allred, B.M.; Field, J.A.; Levis, J.W.; Barlaz, M.A. National estimate of per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) release to U.S. municipal landfill leachate. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 2197–2205. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b05005>
22. LfU (Bavarian Environment Agency). Per- und Polyfluorierte Chemikalien in Bayern: Untersuchungen 2006–2018. Available [https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL\(a rdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:art dtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(a rdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:art dtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X)
23. McMurdo, C.J.; Ellis, D.A.; Webster, E.; Butler, J.; Christensen, R.D.; Reid, L.K. Aerosol enrichment of the surfactant PFO and mediation of the water-air transport of gaseous PFOA. *Environ. Sci. Technol.* **2008**, *42*, 3969–3974. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es7032026>
24. Sinclair, E.; Mayack, D.T.; Roblee, K.; Yamashita, N.; Kannan, K. Occurrence of perfluoroalkyl surfactant in water, fish, and birds from New York State. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2006**, *50*, 398–410. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-005-1188-z>
25. Ghisi, R.; Vamerali, T.; Manzetti, S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 326–341 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935118305577?via%3Dihub>
26. Kannan, K.; Tao, L.; Sinclair, E.; Pastva, S.D.; Jude, D.J.; Giesy, J.P. Perfluorinated compounds in aquatic organisms at various trophic levels in a Great Lakes food chain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2005**, *48*, 559–566. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-004-0133-x>
27. Karg, F. (2021): Per et Polyfluoro Alkyl Substances: Pollution environnementale et Risque pour la Sante. Webinaire 22/10/2021. ARET : Association pour la Recherche en Toxicologie. <https://aret.asso.fr/prochain-webinaire-de-laret-le-22-octobre-2021-inscription-gratuite-ouverte/>
28. Kopf, L ; (2017) : Biotransformationsprozesse von Fluortelomeralkoholen/ PFC-Chemismus und FTOH-Analytik in der Bodenluft. Duale Hochschule Baden-Württemberg, Karlsruhe TSHE14.
29. Sunderland, E.M.; Hu, X.C.; Dassuncao, C.; Tokranov, A.K.; Wagner, C.C.; Allen, J.G. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* **2019**, *29*, 131–147. <https://www.nature.com/articles/s41370-018-0094-1>
30. Khalil, N.; Ducatman, A.M.; Sinari, S.; Billheimer, D.; Hu, C.; Littau, S.; Burgess, J.L. Per-and polyfluoro alkyl substance and cardiometabolic markers in fire fighters. *J. Occup. Environ. Med.* **2020**, *62*, 1076–1081. https://journals.lww.com/joem/Abstract/2020/12000/Per_and_Polyfluoroalkyl_Substance_and_Cardio.16.aspx
31. Leary, D.B.; Takazawa, M.; Kannan, K.; Khalil, N. Perfluoroalkyl substances and metabolic syndrome in firefighters. *J. Occup. Environ. Med.* **2020**, *62*, 52–57. https://journals.lww.com/joem/Abstract/2020/01000/Perfluoroalkyl_Substances_and_Metabolic_Syndrome.9.aspx
32. Russell, M.H.; Himmelstein, M.W.; Buck, R.C. Inhalation and oral toxicokinetics of 6:2 FTOH and its metabolites in mammals. *Chemosphere* **2015**, *120*, 328–335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514009734?via%3Dihub>
33. Domingo, J.L.; Nadal, M. Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. *Environ. Res.* **2019**, *177*, 108648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935119304451?via%3Dihub>

34. Winkens, K.; Vestergren, R.; Berger, U.; Cousins, I.T. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): A critical review. *Emerg. Contam.* **2017**, *3*, 55–68.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405665017300033?via%3Dihub>
35. Faure, S.; Noisel, N.; Werry, K.; Karthikeyan, S.; Aylward, L.L.; St-Amand, A. Evaluation of human biomonitoring data in a health risk based context: An updated analysis of population level data from the Canadian Health Measures Survey. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **2020**, *223*, 267–280.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463919304626?via%3Dihub>
36. Lau, C.; Anitole, K.; Hodes, C.; Lai, D.; Pfahles-Hutchens, A.; Seed, J.: Perfluoroalkyl acids: A review of monitoring and toxicological findings. *Toxicol. Sci.* **2007**, *99*, 366–394.
<https://academic.oup.com/toxsci/article/99/2/366/1679065>
37. Li, Y.; Fletcher, T.; Mucs, D.; Scott, K.; Lindh, C.H.; Tallving, P.; Jakobsson, K. Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. *Occup. Environ. Med.* **2018**, *75*, 46–51. <https://oem.bmj.com/content/75/1/46>
38. Butt, C.M.; Muir, D.C.G.; Mabury, S.A. Biotransformation pathways of fluorotelomer-based polyfluoroalkyl substances: A review. *Environ. Toxicol. Chem.* **2014**, *33*, 243–267.
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.2407>
39. Nilsson, H.; Kärrman, A.; Rotander, A.; van Bavel, B.; Lindström, G.; Westberg, H. Biotransformation of fluorotelomer compound to perfluorocarboxylates in humans. *Environ. Int.* **2013**, *51*, 8–12.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412012001997?via%3Dihub>
40. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls (Draft for Public Comment). <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=1117&tid=237>
41. DeWitt, J.C.; Shnyra, A.; Badr, M.Z.; Loveless, S.E.; Hoban, D.; Frame, S.R.; Cunard, R.; Anderson, S.E.; Meade, B.J.; Peden-Adams, M.M.; et al. Immunotoxicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate and the role of peroxisome proliferator-activated receptor alpha. *Crit. Rev. Toxicol.* **2009**, *39*, 76–94. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408440802209804>
42. Dewitt, J.C.; Peden-Adams, M.M.; Keller, J.M.; Germolec, D.R. Immunotoxicity of perfluorinated compounds: Recent developments. *Toxicol. Pathol.* **2012**, *40*, 300–311.
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0192623311428473>
43. Foguth, R.; Sepúlveda, M.S.; Cannon, J. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) neurotoxicity in sentinel and non-traditional laboratory model systems: Potential utility in predicting adverse outcomes in human health. *Toxics* **2020**, *8*, 42. <https://www.mdpi.com/2305-6304/8/2/42>
44. Thompson, C.M.; Fitch, S.E.; Ring, C.; Rish, W.; Cullen, J.M.; Haws, L.C. Development of an oral reference dose for the perfluorinated compound GenX. *J. Appl. Toxicol.* **2019**, *39*, 1267–1282.
<https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jat.3812>
45. Knutsen, H.K.; Alexander, J.; Barregård, L.; Bignami, M.; Brüschweiler, B.; Ceccatelli, S.; Cottrill, B.; Dinovi, M.; Edler, L.; Grasl-Kraupp, B.; et al. Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. *EFSA J.* **2018**, *16*, e05194.
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2018.5194>
46. US EPA. Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA). https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final-plain.pdf **2020**
47. Fenton, S.E.; Ducatman, A.; Boobis, A.; DeWitt, J.C.; Lau, C.; Ng, C.; Smith, J.S.; Roberts, S.M. Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current State of knowledge and strategies for informing future research. *Environ. Toxicol. Chem.* **2020**.
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.4890>
48. NTP (National Toxicology Program). Monograph on Immunotoxicity Associated with Exposure to Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available online:
https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pfoa_pfos/pfoa_pfosmonograph_508.pdf (2020).
49. Oulhote, Y.; Steuerwald, U.; Debes, F.; Weihe, P.; Grandjean, P. Behavioral difficulties in 7-year old children in relation to developmental exposure to perfluorinated alkyl substances. *Environ. Int.* **2016**, *97*, 237–245.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412016304202?via%3Dihub>
50. Luo, J.; Xiao, J.; Gao, Y.; Ramlau-Hansen, C.H.; Toft, G.; Li, J.; Obel, C.; Andersen, S.L.; Deziel, N.C.; Tseng, W.L.; et al. Prenatal exposure to perfluoroalkyl substances and behavioral difficulties in childhood

- at 7 and 11 years. *Environ. Res.* **2020**, 191, 110111.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120310082?via%3Dihub>
51. Blake, B.E.; Fenton, S.E. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent Heath outcomes A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects. *Toxicology* **2020**, 443, 152565.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X20302043?via%3Dihub>
 52. Ballesteros, V.; Costa, O.; Iñiguez, C.; Fletcher, T.; Ballester, F.; Lopez-Espinosa, M.J. Exposure to perfluoroalkyl substances and thyroid function in pregnant women and children: A systematic review of epidemiologic studies. *Environ. Int.* **2017**, 99, 15–28.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016306195?via%3Dihub>
 53. Kim, M.J.; Moon, S.; Oh, B.-C.; Jung, D.; Ji, K.; Choi, K.; Park, Y.J. Association between perfluoroalkyl substances exposure and thyroid function in adults: A meta-analysis. *PLoS ONE* **2018**, 13, e0197244.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0197244>
 54. Blake, B.E.; Pinney, S.M.; Hines, E.P.; Fenton, S.E.; Ferguson, K.K. Associations between longitudinal serum perfluoroalkyl substance (PFAS) levels and measures of thyroid hormone, kidney function, and body mass index in the Fernald Community Cohort. *Environ. Pollut.* **2018**, 242, 894–904.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118328185?via%3Dihub>
 55. Reardon, A.J.F.; Khodayari Moez, E.; Dinu, I.; Goruk, S.; Field, C.J.; Kinniburgh, D.W.; MacDonald, A.M.; Martin, J.W. Longitudinal analysis reveals early-pregnancy associations between perfluoroalkyl sulfonates and thyroid hormone status in a Canadian prospective birth cohort. *Environ. Int.* **2019**, 129, 389–399.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018332094?via%3Dihub>
 56. Stanifer, J.W.; Stapleton, H.M.; Souma, T.; Wittmer, A.; Zhao, X.; Boulware, L.E. Perfluorinated chemicals as emerging environmental threats to kidney health: A scoping review: *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* **2018**, 13, 1479–1492.
https://journals.lww.com/cjasn/Fulltext/2018/10000/Perfluorinated_Chemicals_as_Emerging_Environmental.8.aspx
 57. Di Nisio, A.; Sabovic, I.; Valente, U.; Tescari, S.; Rocca, M.S.; Guidolin, D.; Dall'Acqua, S.; Acquasaliente, L.; Pozzi, N.; Plebani, M.; et al. Endocrine disruption of androgenic activity by perfluoroalkyl substances: Clinical and experimental evidence. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **2019**, 104, 1259–1271.
<https://academic.oup.com/jcem/article/104/4/1259/5158211>
 58. Ding, N.; Harlow, S.D.; Randolph, J.F.; Loch-Caruso, R.; Park, S.K. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and their effects on the ovary. *Hum. Reprod. Update* **2020**, 26, 724–752.
<https://academic.oup.com/humupd/article/26/5/724/5848465>
 59. Liew, Z.; Luo, J.; Nohr, E.A.; Bech, B.H.; Bossi, R.; Arah, O.A.; Olsen, J. Maternal plasma perfluoroalkyl substances and miscarriage: A nested case-control study in the Danish National Birth Cohort. *Environ. Health Perspect.* **2020**, 128, 047007. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP6202>
 60. Di Nisio, A.; Rocca, M.S.; De Toni, L.; Sabovic, I.; Guidolin, D.; Dall'Acqua, S.; Acquasaliente, L.; De Filippis, V.; Plebani, M.; Foresta, C. Endocrine disruption of vitamin D activity by perfluoro-octanoic acid (PFOA). *Sci. Rep.* **2020**, 10, 16789. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-74026-8>
 61. Consonni, D.; Straif, K.; Symons, J.M.; Tomenson, J.A.; Van Amelsvoort, L.G.P.M.; Smeuwenoek, A.; Cherrie, J.W.; Bonetti, P.; Colombo, I.; Farrar, D.G. **Cancer risk** among tetrafluoroethylene synthesis and polymerization workers. *Am. J. Epidemiol.* **2013**, 178, 350–358.
<https://academic.oup.com/aje/article/178/3/350/98898>
 62. Barry, V.; Winqvist, A.; Steenland, K. Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. *Environ. Health Perspect.* **2013**, 121, 1313–1318.
<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1306615>
 63. Vieira, V.M.; Hoffman, K.; Shin, H.-M.; Weinberg, J.M.; Webster, T.F.; Fletcher, T. Perfluorooctanoic Acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: A geographic analysis. *Environ. Health Perspect.* **2013**, 121, 318–323. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1205829>
 64. Chang, E.T.; Adami, H.-O.; Boffetta, P.; Cole, P.; Starr, T.B.; Mandel, J.S. A critical review of perfluoro-octanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. *Crit. Rev. Toxicol.* **2014**, 44, 1–81. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10408444.2014.905767>
 65. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. The hallmarks of cancer. *Cell* **2000**, 100, 57–70.
[https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(00\)81683-](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(00)81683-)

- [9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867400816839%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(11)00127-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867400816839%3Fshowall%3Dtrue)
66. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. Hallmarks of cancer: The next generation. *Cell* **2011**, *144*, 646–674. [https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(11\)00127-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867411001279%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(11)00127-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0092867411001279%3Fshowall%3Dtrue)
67. Temkin, A.M.; Hocevar, B.A.; Andrews, D.Q.; Naidenko, O.V.; Kamendulis, L.M. Application of the Key characteristics of carcinogens to per and polyfluoroalkyl substances. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 1668. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/5/1668>
68. Smith, M.T.; Guyton, K.Z.; Gibbons, C.F.; Fritz, J.M.; Portier, C.J.; Rusyn, I.; DeMarini, D.M.; Caldwell, J.C.; Kavlock, R.J.; Lambert, P.F.; et al. Key characteristics of carcinogens as a basis for organizing data on mechanisms of carcinogenesis. *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, 713–721. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1509912>
69. Guyton, K.Z.; Rusyn, I.; Chiu, W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.; Beland, F.A.; Smith, M.T. Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. *Carcinogenesis* **2018**, *39*, 614–622. <https://academic.oup.com/carcin/article/39/4/614/4883395>
70. Emerce, E.; Çetin, Ö. Genotoxicity assessment of perfluoroalkyl substances on human sperm. *Toxicol. Ind. Health* **2018**, *34*, 884–890. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748233718799191>
71. Butenhoff, J.L.; Kennedy, G.L.; Chang, S.C.; Olsen, G.W. Chronic dietary toxicity and carcinogenicity study with ammonium perfluorooctanoate in Sprague-Dawley rats. *Toxicology* **2012**, *298*, 1–13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X12001151?via%3Dihub>
72. Peters, J.M.; Shah, Y.M.; Gonzalez, F.J. The role of peroxisome proliferator-activated receptors in carcinogenesis and chemoprevention. *Nat. Rev. Cancer* **2012**, *12*, 181–195. <https://www.nature.com/articles/nrc3214>
73. Behr, A.C.; Lichtenstein, D.; Braeuning, A.; Lampen, A.; Buhrke, T. Perfluoroalkylated substances (PFAS) affect neither estrogen and androgen receptor activity nor steroidogenesis in human cells in vitro. *Toxicol. Lett.* **2018**, *291*, 51–60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378427418301164?via%3Dihub>
74. Wielsøe, M.; Kern, P.; Bonefeld-Jørgensen, E.C. Serum levels of environmental pollutants is a risk factor for breast cancer in Inuit: A case control study. *Environ. Health A Glob. Access Sci. Source* **2017**, *16*, 56. <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-017-0269-6>
75. International Agency for Research on Cancer (IARC). Some Chemicals Used as Solvents and in Polymer Manufacture. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, **2016**; Volume 110, ISBN 978-92-832-0148-9.
76. US EPA(2020) :Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available online: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfos_hesd_final_508.pdf (2020).
77. Brasse, R.A. ; Mullin, E.J. & Spink, D.C. (2021): Legacy and Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *International Journal of Molecular Science MDPI*, 22? 995. <https://doi.org/10.3390/ijms22030995>
78. ANSES (2015) : Connaissances relatives à la réglementation, à l'identification, aux propriétés chimiques à la production et aux usages des composés de la famille des Perfluorés (Tome 1). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-101.pdf>
79. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par des composés de la famille des Perfluorés (Tome 2). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-102.pdf>
80. Biel, W.; Zeilmaker, M. ; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2020): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environmental Toxicology and Chemistry Volume 40, Issue 3 p. 859-870* <https://doi.org/10.1002/etc.4835> <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>
81. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de toxicité sur les composés de la famille des Perfluorés (Tome 3). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-103.pdf>
82. Bil, W. ; Zeilmaker, M. ; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2020): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environmental Toxicology*

- and Chemistry Volume 40, Issue 3 p. 859-870 <https://doi.org/10.1002/etc.4835>
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>
83. ANSES (2017): AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires d'alkyls per- et polyfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. Saisine n° 2015-SA-0105 Saisine liée n° 2012-SA-0001
<https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf>
84. US-EPA (2016) : Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA).EPA 822-R-16-003.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final_508.pdf
85. EFSA (2018): Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. European Food Safety Authority.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2018.5194>
86. ITRC (2022): PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Interstate Technology Regulatory Council. Juni 2022. <https://pfas-1.itrcweb.org/9-site-risk-assessment/>
87. Stockholm Convention: Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds.
<http://chm.pops.int/Implementation/Alternatives/AlternativestoPOPs/ChemicalslistedinAnnexA/PFOA/tabid/8292/Default.aspx>
88. Wang, N. Szostek, B., Buck, R.C., Folsom, P.W., Sulecki, L.M., Gannonet, J.T. (2009): Fluortelomer alcohol aerobic soil biodegradation : Pathways, metabolites and metabolite yields. Chemosphere. Volume 75, Issue 8, May 2009, Pages 1089-1096
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509000496>
89. Liu, J., Avendaño, S.M. (2013): Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment: a review. Environment international. 1 November 2013, DOI:10.1016/j.envint.2013.08.022. Corpus ID: 28773717. <https://www.semanticscholar.org/paper/Microbial-degradation-of-polyfluoroalkyl-chemicals-Liu-Avenda%C3%B1o/cd3c413c79adf7cec83822997cf350a9705cd23d>
90. Zhanga, Z., Sarkara, D., Kumar, J., Datta, B.R. (2022): Biodegradation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A review. Bioresource Technology, Volume 344, Part B, January 2022, 126223
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421015650>
91. Wang, Z.Y., Cousins, I.T., Scheringer, M., Hungerbuhler, K. (2013): Fluorinated alternatives to long-chain perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs), perfluoroalkane sulfonic acids (PFASs) and their potential precursors, Environ. Int., 2013, 60, 242–248. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24660230/>
92. ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
93. MDHHS (2019): Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health Michigan PFAS Action Response Team Human Health Workgroup. Public health drinking water screening levels for PFAS.
https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/MDHHS_Public_Health_Drinking_Water_Screening_Levels_for_Pfas_651683_7.pdf
94. TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality
<https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>
95. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas.pdf
96. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang A. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-a.pdf
97. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang B. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-b.pdf

98. BfR (2018): Perfluorierte Verbindungen PFOS und PFOA sind in Lebensmitteln unerwünscht. Bundesinstitut für Risikobewertung. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/perfluorierte-verbindungen-pfos-und-pfoa-sind-in-lebensmitteln-unerwuenscht.pdf>
99. EFSA (2018): Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. European Food Safety Authority. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2018.5194>
100. NJ-DW-QI (2017): HEALTH-BASED MAXIMUM CONTAMINANT LEVEL SUPPORT DOCUMENT: PERFLUOROOCTANOIC ACID (PFOA). New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee February 15, 2017. <https://www.state.nj.us/dep/watersupply/pdf/pfoa-appendixa.pdf>
101. State of New Hampshire Environmental Services (2019): Direct Contact Risk-Based Soil Concentrations for Perfluorooctanoic acid (PFOA), Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) and Perfluorononanoic acid (PFNA): State of New Hampshire, December 11, 2019. <https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/wp-content/uploads/PFAS-DCRB-value-121119.pdf>
102. US Department of Defense (Assessed 27/02/2022): Appendix I - PFAS Toxicity Profiles. <https://defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Tindal/Reports/201806HHRAAppIToxicityProfiles.pdf>
103. UBA (2016): HBM I values for Perfluorooctanoic acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in blood plasma Statement of the German Human Biomonitoring Commission (HBM Commission). Announcement of the German Environment Agency (UBA). Bundesgesundheitsbl 2016 · 59:1364 DOI 10.1007/s00103-016-2437-1. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-016-2437-1.pdf>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2437-1>
104. Wie-Chun Chou, Zhoumeng Lin (2020): Probabilistic human health risk assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) by integrating in vitro, in vivo toxicity, and human epidemiological studies using a Bayesian-based dose-response assessment coupled with physiologically based pharmacokinetic (PBPK) modeling approach. Environment International, Volume 137, April 2020, 105581. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201933805X>
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S016041201933805X?token=134AF5A3441CFB49FFE7BBA90CE64A74DDF7936B3178BEF86DE71342FFBADF1A81613100CDB6638F9DEE07BFEF182C65&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220227001829>
105. US-EPA (2021): Health & Environmental Research Online (HERO). United States Environmental Protection Agency. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/5026091
106. US-EPA (2019): Systematic Review Protocol for the Perfluorodecanoic Acid (PFDA) IRIS Assessments (Preliminary Assessment Materials). United States Environmental Protection Agency. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&count=10000&dirEntryId=345088&search=&showcriteria=2&simplesearch=0&timstype=
107. Monti, C.; Rose, N.; Negley, T. (2021): PFAS Fingerprinting: A multivariate forensic analysis to detect the origin and extent of PFAS contamination in Northern Italy. SETAC 2021 ; 3- 6 May, 2021.
108. Monti, C. (2022): PFAS Fingerprinting: A multivariate forensic analysis to detect the origin and extent of PFAS contamination in Northern Italy. Minutes of International PFAS Congress, 20 October 2022, Paris. https://www.saturne.net/mud/index.php?d=pfas_congress22_abstracts_pg
109. UPDS (2021): Les Polluants émergent. La Magasine des Professions de dépollution des sites. No 9, Juin 2021. https://www.fnade.org/ressources/pdf/2/3425-UPSD_Mag_9.pdf
110. Held, T. (2020) : Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020,p. 225. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
111. Georgi, J., Bschi, J., Bruns, J., Mackenzie, K., Saeidi, N., Kopinke, F.D. (2020): Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020, p. 232. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
112. AFSSET, Karg, F. et al (2010) : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances cancérigènes (Toxicological Reference Values for cancerogenic Compounds) - Méthode de construction de VTR fondées sur des effets cancérigènes - Saisine n°2004/AS16. Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, 05/2010 (aujourd'hui ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire). http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/141844903203317036420911165719/VTR_cancer_methodologie_afsset_mars10.pdf

113. Karg, F. (2010) : Recensement des menaces environnementales pour la santé publique et l'importance de la pollution de l'air ambiant. Rapport de l'INVS / Inventory of environmental threats on public health and links with ambient air pollution. INVS report – Minutes AtmosFair, Lyon 28/09/2010.
114. Solal, C. Jabbour, V., El Ghissassi, F., Karg, F., Enriquez, B., Rousselle, C., Bodin, L. (2010) : Carcinogenic Toxicological Reference Values for Chloronitrobenzene Isomers. Poster : IUTOX Barcelona : 07/2010.
115. Karg, F. (2011): Methodology of risk management in case of exposure uncertainties on working places with special regard on contaminated sites and buildings. Minutes INTERSOL, Lyon le 29/03/2011.
116. Karg, F. & Vircondelet, S. (2011): Méthodologies EQRS & ARRp de Gestion et Technologies de Réhabilitation des Zones contaminées par le Chlordécone: La Gestion Globale (Methodology of Quantified and preventive Health Risk Assessments for site specific Remediation Goals and Remediation Technologies for Zones contaminated with the Chlordecone Pesticide). Remédiation à la Pollution par la Chlordécone aux Antilles. PRM : Cahier du Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique. N° 9-10, 04-2011, p. 76 – 84.
<https://www.caec-carib.org/content/download/4541/33344/version/2/file/Rem%C3%A9diation+%C3%A0+la+pollution+par+la+chlord%C3%A9cone+aux+Antilles.pdf>
117. Glorennec, P., Karg, F. et al. (2011) : Améliorations de la démarche d'évaluation des risques sanitaires : contribution de la section « Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires » de la SFSE. (Optimization of Health Risk Assessments). ERS : Environnement, Risques & Santé. Vol. 10. No 2, March – April 2011.
118. Karg, F. (2012): Internationaler State-of-the-Art der standortspezifischen Risikobewertung / International State-of-the-Art concerning Contaminated Site HRA: Health Risk Assessments. Script of Symposium. ITVA-Symposium. Hamburg 22-23/03/2012.
119. Karg, F. & Kopytynski, W. (2012) : EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires et réhabilitation dans le cas des pollutions par des additifs, impuretés et métabolites / Exemples : Picloram, Bromacile, Chlordécone, 2,4-D et Glyphosate/AMPA en Europe, Asie (Chine et Vietnam) et Amérique du Sud / TERQ: Toxicological Exposure Risk Quantification and remediation in case of environmental contamination by pesticide additives, impurities and metabolites: Examples of Picloram, Bromacile, Chlordecone, 2,4-D and Glyphosate/AMPA in Europe, Asia (China & Vietnam) and South America). Minutes of INTERSOL 2012, Paris-Ivry 27-30/03/2012.
120. Glorennec, P., Imbert, M., Ronga-Pezeret, S., Karg, F., Bonvallot, N., Boulanger, G., Maurau, S., Guillossou, G. & Rouhan, A. (2012) : Objectifs et résultats attendus d'une évaluation des risques sanitaires. (Goals of Health Risk Assessments) Section "Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires" de la SFSE. Objectifs et résultats attendus d'une évaluation des risques sanitaires. Environnement Risque Santé 2012 ; 11 : 240-241. doi : 10.1684/ers.2012.0541
121. Karg, F. (2012): Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. AtmosFair Congress Book, Lyon / France 26-27/09/2012.
122. Karg, F. (2013) : Les risques combinés professionnels et résidentiels d'exposition toxicologiques via l'air ambiant par les COV / Ambient Air Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. Minutes of Congress, Intersol Lyon / France : 26 – 28th of March 2013.
123. Karg, F. (2013): Consideration of emerging pollutants in the indoor air / La prise en compte des polluants émergents dans l'air intérieur. Minutes of Congress. AtmosFair, Paris, 25-26 September 2013.
124. Karg, F. (2013): Using the Toxicological Exposure Risk Quantification (TERQ) to assess potential combination effects; Fresenius Akademie Mainz / Mayence / Germany: Public Seminar Documents: "Human Health" 13./14. November 2013.
125. Karg, F., Robin-Vigneron, L., Vircondelet, S. (2013): Cancer Risk Occurrence on Contaminated Sites: Experience Feed-back on HRA: Health Risk Assessments on 160 sites in France and Germany. Poster on Congress: Congrès National de la SFSE (Société Française de la Santé – Environnement) : Cancer et l'Environnement – CNRS, Lyon 28 – 29 November 2013.
126. Karg, F. (2013): Health risk based Dioxin & POP Management in EC: European Community: PCDD/F-& PCB-Contaminations & Methodology for site investigations, health risk assessment and remediation. Sharing Lessons-Learned - Dioxin/POPs Pollution Assessment and Remediation in Vietnam. Minutes of Congress - Da Nang, Vietnam, December 1-4, 2013.
127. Karg, F. (2016): MOA-Methodology of Risk Assessment and Exposure on Pollutant Cocktails (Agent Orange & Agent Blue, Dioxins, Pesticides, Chloro-phenols, Arsenic). Méthodologie MOA des évaluations

- des expositions aux cocktails de polluants : Agent Orange et Agent Bleu, etc. (Dioxines, Pesticides, Chlorophenols, Arsenic). Intersol Congress Minutes, Lille 16th of March 2016
128. PORTELIUS, E., DURIEU, E., BODIN, M., CAM, M., PANNEE, J., LEUXE, C., MABONDZO, A., OUMATA, N., GALONS, H., LEE, Y., CHANG, Y-T., STÜBER, K., KOCH, P., FONTAINE, G., POTIER, M-C., MANOUSOPOULOU, A., GARBIS, S., COVACI, A., VAN DAM, D., DE DEYN, P., KARG, F., FLAJOLET, M., OMORI, C., HATA, S., SUZUKI, T., BLENNOW, K., ZETTERBERG, K. and MEIJER, L. (2016): Specific triazine herbicides induce amyloid β 42 Production. *Journal of Alzheimer's Disease*, 54 (2016) p.1593–1605. DOI 10.3233/JAD-160310, IOS Press.
 129. Karg, F. (2017) : CWA Chemical Warfare Agents: Case Studies on Environmental Chemistry, Site Investigations, Risk Assessment and Site Decontamination & Remediation. Intersol, Lyon / France, 16th of March 2017. Minutes of Congress.
 130. Karg, F. (2017): Identification, Monitoring, Risk Assessment and Management of Cities' & Quarter specific Air Pollution in addition to « standard » Pollutants Parameters. Minutes of Congress: AtmosFair, Lyon France, 10-11th of October 2017.
 131. Karg, F. (2018): Internationale Ansätze in der Gefährdungsabschätzung im Vergleich zum deutschen Bodenschutzrecht. (International Approaches of Health Risk Assessments in Comparaison with German Regulations) Seminar: Wirkungspfad Boden – Mensch: Regierungspräsidium Stuttgart (Seminar: Exposures from Soil to Humans. Stuttgart / Germany 20/02/2018. Minutes of Seminar.
 132. Karg, F. (2019): Needs for Technical & Regulatory Management for contaminations by PFT (PFAS): Poly- & Perfluorinated Tensides: Study cases for Environmental Chemistry, site Investigations, Risk Assessment and Site Decontamination & Remediation (Besoins de Gestion technico-réglementaire des Contaminations par des TPF : Tensioactifs Poly- & Perfluorés : Etudes de cas concernant la chimie environnementale, les évaluations des risques et la décontamination & réhabilitation des sites pollués. Minutes of Congress INTERSOL Lille / France: 26th to 28th of March 2019.
 133. Karg, F. (2021): Per et Polyfluoro Alkyl Substances: Pollution environnementale et Risque pour la Sante. Webinaire 22/10/2021. ARET : Association pour la Recherche en Toxicologie. <https://aret.asso.fr/prochain-webinaire-de-laret-le-22-octobre-2021-inscription-gratuite-ouverte/>
 134. Karg, F. (2021): Case Studies of Polluted Site Management in Case of non-acceptable toxic Risks by Indoor Air Contamination via volatile Pollutants (Polar & Chlorinated Solvents: TCE, PCE, DCE, VC and also BTEX, HC5-16, etc.) / Etudes de Cas de Gestion des Sites Pollués à Impact à Risque Sanitaire non-acceptable des polluants volatils des Sites pollués sur l'air ambiant intérieur des entreprises et des locaux résidentiels (Solvants polaires & chlorés : TCE, PCE, DCE, VC et aussi BTEX, HC5-16, etc.). Minutes of Congress INTERSOL , Paris, 07 – 09/09/2021.
 135. Karg, F. (2022): TERQ-Modell zur Rückrechnung von Raumluftkonzentrationen (PCB aus Fugen, Anstrichen, Deckenplatten, etc.) sowie bei anderen Schadstoffen zur Ermittlung der Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen (TERQ*-Model for Definition of Needs for Building Remediation & Decontamination in Case of PCB-Presence in In-Door Ambient Air)/ Gesundheitsgefahren durch PCB in Gebäuden (Health Risks by PCB in Buildings). DECONex Fachkongress Schadstoffmanagement / Congress Pollution Management in Buildings. Essen / Germany 19-20/01/2022. Meeting Minutes.
 136. ATSDR (2021) : Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
 137. BRGM (2014): Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP ; BRGM/RP-63675-FR <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63675-FR.pdf>
 138. Karg, F. (2022): ERP sensibles (Ecoles, Crèches) & Habitations et Diagnostics, Evaluation des Risques Toxicologiques et Traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotéломère-Alcools volatils / **Public Site Use Scenarios (Schools, Kindergartens & Residences and Site Investigation, Toxicological Health Risk Assessments (TERQ) and Treatments of PFAS, especially volatile FTOH: Fluorotelomere Alcohols.** INTERSOL 2022, Lyon / France: 21-23/06/2022, Congress Minutes. https://www.saturne.net/mud/index.php?d=intersol2022_abstracts_pg
 139. Karg, F. (2022): PFAS: Poly- & Perfluorierte aliphatische Substanzen: Vorkommen, Umweltchemie und Management Seminar zum PFAS-Management (PFC/PFT): Technische & juristische Lösungen zum Management bei PFAS-Altlasten (Boden & Grundwasser sowie bei Bodengas & Raumluftkontaminationen mit FTOH = flüchtige PFAS). HPC INTERNATIONAL-Seminar: Düsseldorf-Ratingen 27.09.2022.

140. Karg, F. (2022): PFAS: Management of Pollution and Health Risks: Site Investigations, Environmental Chemistry, Risk Assessment (sensitive ERP and others), Regulatory Thresholds and Treatments (including volatile PFAS FTOH in soils, groundwater, soil gas & ambient air). International PFAS-Congress ARET-SFSE-HPC INTERNATIONAL, Paris 20 October 2022. Minutes of Congress. https://www.saturne.net/mud/index.php?d=pfas_congress22_abstracts_pg
141. Karg, F, Hintzen, U., ROBIN-VIGNERON, L., MOSTERSTEG, S. (2022): Einzelfallprüfung bei PFAS. Altlastenspektrum 06.2022, 31. Jahrgang, Dezember 2022, Seiten 157 – 204. <https://altlastendigital.de/ce/einzelfallpruefung-bei-pfas/detail.html>
142. Trang, B., Li, Y., Xue, X.-S., Ateia, M., Houk, K.-N., Dichtel, W.-R.: (2022): Low-temperature mineralization of perfluorocarboxylic acids. Science, Vol. 377, No. 6608, p. 839 – 845. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abm8868>
143. Karg, F. (2022): **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)** / Gestion des FTOH: Fluorotélomère-Alcools (PFAS volatils) dans l'air ambiant des ERP sensibles (écoles, crèches) & habitations : diagnostics et évaluation des risques toxicologiques. AtmosFair, Lyon: 20 & 21/09/2022. Congress Minutes. https://www.saturne.net/mud/index.php?d=atmosfair2022_program_abstracts
144. Karg, F. (2022): Actualized Legal framework of PFAS management in Soil, Groundwater and soil & discharge effluents and Leachates in Germany and France & EC wide potential evolution of the legislation concerning PFAS management in the next years. RemTech, Ferrara – Italia, 22/09/2022. Minutes of Congress.
145. Karg, F. (2022): PFAS: Poly- & Perfluorierte aliphatische Substanzen: Vorkommen, Umweltchemie und Management Seminar zum PFAS-Management (PFC/PFT): Technische & juristische Lösungen zum Management bei PFAS-Altlasten (Boden & Grundwasser sowie bei Bodengas & Raumluftkontaminationen mit FTOH = flüchtige PFAS). HPC INTERNATIONAL-Seminar: Düsseldorf-Ratingen 27.09.2022.
146. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung. Stand: 21.02.2022. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf
147. BAuA (2014): Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 402, Abschnitt 5.2.1 Stoff- und Bewertungsindex, http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-402.pdf?__blob=publicationFile&v=7
148. LAWA (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser: Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. 28. 07. 2017. https://www.lawa.de/documents/03_anlage_3_bericht_gfs_fuer_pfc_endfassung_22_11_2017_2_155230220_8.pdf
149. WHO/IPCS (2009): Assessment of combined exposures to multiple chemicals: report of a WHO/IPCS international workshop on aggregate/cumulative risk assessment. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44113/9789241563833_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
150. Umweltbundesamt (2011): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0351.pdf>
151. ITVA-E1-AH7 (2020): Draft: Arbeitshilfe zur standortspezifischen humantoxikologischen Gefährdungsabschätzung und Ableitung von Maßnahmenwerten zum Management von schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten. Entwurf 2020.
152. IPCS / WHO (2010): WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards. 88 pages. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44458/9789241548076_eng.pdf;jsessionid=B27779C17F31F535ED9F5AD57DA7D023?sequence=1
153. Umweltbundesamt (2020): Senkung der Vorsorge-Maßnahmenwerte für PFOA/PFOS im Trinkwasser. <https://www.umweltbundesamt.de/senkung-der-vorsorge-massnahmenwerte-fuer-pfoapfos>
154. LANUV (2022): Bewertungsmaßstäbe für PFAS-Konzentrationen für NRW. Leitfaden des Bundes zur PFAS-Bewertung, in NRW per Erlass vom 04.03.2022 eingeführt. <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/gefahrstoffe/pfc/bewertungsmassstaebe#c6521>
155. ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>

156. MDHHS (2019): Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health Michigan PFAS Action Response Team Human Health Workgroup. Public health drinking water screening levels for PFAS. https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/MDHHS_Public_Health_Drinking_Water_Screening_Levels_for_PFAS_651683_7.pdf
157. TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>
158. NJ-DW-QI (2017): HEALTH-BASED MAXIMUM CONTAMINANT LEVEL SUPPORT DOCUMENT: PERFLUOROOCTANOIC ACID (PFOA). New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee February 15, 2017. <https://www.state.nj.us/dep/watersupply/pdf/pfoa-appendixa.pdf>
159. UBA (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang A. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-a.pdf
160. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang B. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-b.pdf
161. BfR (2018): Perfluorierte Verbindungen PFOS und PFOA sind in Lebensmitteln unerwünscht. Bundesinstitut für Risikobewertung. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/perfluorierte-verbindungen-pfos-und-pfoa-sind-in-lebensmitteln-unerwuenscht.pdf>
162. State of New Hampshire Environmental Services (2019): Direct Contact Risk-Based Soil Concentrations for Perfluorooctanoic acid (PFOA), Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) and Perfluorononanoic acid (PFNA): State of New Hampshire, December 11, 2019. <https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/wp-content/uploads/PFAS-DCRB-value-121119.pdf>
163. US Department of Defense (Assessed 27/02/2022): Appendix I - PFAS Toxicity Profiles. <https://defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Tindal/Reports/201806HHRAAppIToxicityProfiles.pdf>
164. UBA (2016): HBM I values for Perfluorooctanoic acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in blood plasma Statement of the German Human Biomonitoring Commission (HBM Commission). Announcement of the German Environment Agency (UBA). Bundesgesundheitsbl 2016 · 59:1364 DOI 10.1007/s00103-016-2437-1. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-016-2437-1.pdf>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2437-1>
165. Wie-Chun Chou, Zhoumeng Lin (2020): Probabilistic human health risk assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) by integrating in vitro, in vivo toxicity, and human epidemiological studies using a Bayesian-based dose-response assessment coupled with physiologically based pharmacokinetic (PBPK) modeling approach. Environment International, Volume 137, April 2020, 105581. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201933805X>
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S016041201933805X?token=134AF5A3441CFB49FFE7BBA90CE64A74DDF7936B3178BEF86DE71342FFBADF1A81613100CDB6638F9DEE07BFEF182C65&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220227001829>
166. US-EPA (2021): Health & Environmental Research Online (HERO). United States Environmental Protection Agency. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/5026091
167. US-EPA (2019): Systematic Review Protocol for the Perfluorodecanoic Acid (PFDA) IRIS Assessments (Preliminary Assessment Materials). United States Environmental Protection Agency. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&count=10000&dirEntryId=345088&searchall=&showcriteria=2&simplesearch=0&timstype=
168. UPDS (2021): Les Polluants emergent. La Magasine des Professions de dépollution des sites. No 9, Juin 2021. https://www.fnade.org/ressources/pdf/2/3425-UPSD_Mag_9.pdf
169. EFSA (2020): PFAS in Lebensmitteln: Risikobewertung und Festlegung einer tolerierbaren Aufnahmemenge durch die EFSA. European Food Safety Authority. 17.09.2020. <https://www.efsa.europa.eu/de/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
170. Bil, W., Zeilmaker, M., Fragki, S., Lijzen, J., Verbruggen, E., Bokkers, B. (2020): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. Environ Toxicol Chem 2021;40:859–870. <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/etc.4835>

171. Bil, Wieneke Bil Veronika Ehrlich, Guangchao Chen, Rob Vandebriel, Marco Zeilmaker, Mirjam Luijten, Maria Uhl, Philip Marx-Stoelting, Thorhallur Ingi Halldorsson, Bas Bokkers (2023) : Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environ Int.* 2023 Jan;171:107727.doi: 10.1016/j.envint.2022.107727. Epub 2023 Jan 4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36628859/>
172. PORTELIUS, E., DURIEU, E., BODIN, M., CAM, M., PANNEE, J., LEUXE, C., MABONDZO, A., OUMATA, N., GALONS, H., LEE, Y., CHANG, Y-T., STÜBER, K., KOCH, P., FONTAINE, G., POTIER, M-C., MANOUSOPOULOU, A., GARBIS, S., COVACI, A., VAN DAM, D., DE DEYN, P., KARG, F., FLAJOLET, M., OMORI, C., HATA, S., SUZUKI, T., BLENNOW, K., ZETTERBERG, K. and MEIJER, L. (2016): Specific triazine herbicides induce amyloid β 42 Production. *Journal of Alzheimer's Disease*, 54 (2016) p.1593–1605. <https://content.iospress.com/articles/journal-of-alzheimers-disease/jad160310>
173. B-LFU (2022): Vorläufige Leitlinien zur Bewertung von PFAS-Verunreinigungen in Wasser und Boden. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Stand Juli 2022. https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/leitlinien_vorlaufbewertung_pfc_verunreinigungen.pdf
174. Held, T. (2020) : Precursor. *Altlastenspektrum*. 06/2020.p. 225. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
175. Huang, S. & Jaffé, R. (2019): Defluorination of Perfluorooctanonic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) by Acidimicrobium sp. Strain A6. *Environmental Science & Technology*. 2019 Oct 1; 53(19):11410-11419. doi: 10.1021/acs.est.9b04047. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.9b04047>
176. Georgi, J., Busch, J., Bruns, J., Mackenzie, K., Saeidi, N., Kopinke, F.D. (2020): Precursor. *Altlastenspektrum*. 06/2020, p. 232. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
177. Karg, F. & HINTZEN, U. (2023): PFAS sicher und preiswert sanieren. *VDI – Umweltmagazin (Verein Deutscher Ingenieure)*, 1 – 2 / 2023 Seiten 46 – 48. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.37544/0173-363X-2023-1-2/umweltmagazin-jahrgang-53-2023-heft-1-2?page=1>
178. Karg, F., Hintzen, U., Robin-Vigneron, L. & Mostersteg, (2022): Einzelfallprüfung bei PFAS: Anwendung der neuen Mantelverordnung für verhältnismässige und kostenoptimierte Sanierungen bei Vielstoffbelastung. (**Site specific Risk Assessment and Cost effective Site Remediation of PFAS**). *Altlastenspektrum* 06/2022, p. 180 – 192, ITVA December 2022. <https://altlastendigital.de/ce/einzelfallpruefung-bei-pfas/detail.html>
179. Karg, F. (2023) : Traitements in-situ des Polluants émergents dans les Sols et les Eaux souterraines - Exemples des aménagements des sites pollués par des HET-NSO & PFAS. Minutes of Congress INTERSOL Lille / France : 29th to 31st of March 2023.
180. Karg, F., SFSE et. al. (2023 en cours) : Guide et Fiches de gestion des pollutions par des PFAS. Société Francophone de Santé en Environnement. Minutes of International PFAS Congress, Paris 13 & 14 June 2023. https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-SFSE-13-06-23-F_ChR.pdf
https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-SFSE-13-06-23-E_ChR.pdf
181. Karg, F., Hintzen, U., Robin-Vigneron, L. et Girard, P. (2023) : PFAS : Chimie Environnementale, Diagnostics & Identification des Sources, Toxicologie et Evaluation des Risques (EQRs), incluent les FTOH. PFAS / Environmental Chemistry Investigations, Source Identification, Toxicology and TERQ Risk Assessments, including FTOH. Abstract submitted to the Congress “PFAS – Management of Environmental and Health risks”. Paris, June 13-14, 2023. <https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023-F.pdf>
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023-E.pdf>
182. Karg, F. & HUETTMANN, S. (2023) : Traitements durables in-situ des PFAS dans les sols et eaux souterraines contaminés, notamment par lavage via des Biopolymères protéiniques / Sustainable In-situ Treatments of PFAS in contaminated Soil and Groundwater, Washing with Protein Bio-polymers. Introduction. Abstract submitted to the Congress “PFAS – Management of Environmental and Health risks”. Paris, June 13-14, 2023. <https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-abstract-Sensatec-Huettmann-KARG-E.pdf>
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-abstract-Sensatec-Huettmann-KARG-F.pdf>

183. Executive Office of the President of the United States of America (2023): Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Report. Joint Subcommittee on Environment, Innovation and Public Health – Per- and Polyfluoroalkyl Substances Strategy Team of the National Science and Technology Council, Washington DC, March 2023. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/OSTP-March-2023-PFAS-Report.pdf>
184. Ladics G.S., Stadler J.C., Makovec G.T., Everds N.E., Buck R.C. Subchronic toxicity of a fluoroalkylethanol mixture in rats. *Drug Chem. Toxicol.* 2005;28:135–158. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15865257/>
185. Fasano W.J., Carpenter S.C., Gannon S.A., Snow T.A., Stadler J.C., Kennedy G.L., Buck R.C., Korzeniowski S.H., Hinderliter P.M., Kemper R.A. Absorption, distribution, metabolism, and elimination of 8-2 fluorotelomer alcohol in the rat. *Toxicol. Sci.* 2006; 91:341–355. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16543293/>
186. Sheng N., Zhou X., Zheng F., Pan Y., Guo X., Guo Y., Sun Y., Dai J. Comparative hepatotoxicity of 6:2 fluorotelomer carboxylic acid and 6:2 fluorotelomer sulfonic acid, two fluorinated alternatives to long-chain perfluoroalkyl acids, on adult male mice. *Arch. Toxicol.* 2017; 91:2909–2919 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28032147/>
187. Maras M., Vanparys C., Muylle F., Robbens J., Berger U., Barber J.L., Blust R., De Coen W. Estrogen-like properties of fluorotelomer alcohols as revealed by mcf-7 breast cancer cell proliferation. *Environ. Health Perspect.* 2006;114:100–105. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1332663/>
188. Vanparys C., Maras M., Lenjou M., Robbens J., Van Bockstaele D., Blust R., De Coen W. Flow cytometric cell cycle analysis allows for rapid screening of estrogenicity in MCF-7 breast cancer cells. *Toxicol. In Vitro.* 2006;20:1238–1248. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16797915/>
189. Rosenmai A.K., Taxvig C., Svungen T., Trier X., van Vugt-Lussenburg B.M., Pedersen M., Lesne L., Jegou B., Vinggaard A.M. Fluorinated alkyl substances and technical mixtures used in food paper-packaging exhibit endocrine-related activity in vitro. *Andrology.* 2016;4:662–672. [PubMed] [Google Scholar]
190. Liu C., Deng J., Yu L., Ramesh M., Zhou B. Endocrine disruption and reproductive impairment in zebrafish by exposure to 8:2 fluorotelomer alcohol. *Aquat. Toxicol.* 2010;96:70–76 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27152447/>
191. Mukerji P., Rae J.C., Buck R.C., O'Connor J.C. Oral repeated-dose systemic and reproductive toxicity of 6:2 fluorotelomer alcohol in mice. *Toxicol. Rep.* 2015;2:130–143. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5598097/>
192. Mylchreest E., Munley S.M., Kennedy G.L., Jr Evaluation of the developmental toxicity of 8-2 telomer B alcohol. *Drug Chem. Toxicol.* 2005;28:315–328 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16051557/>
193. SLU (Swedish University of Agricultural Science) / Bo Sha (2017): Perfluoroalkyl substances (PFASs), flame retardants and cyclic volatile methylsiloxanes in indoor air in Uppsala, Sweden – occurrence and human exposure assessment. Department of Aquatic Sciences and Assessment Master thesis • 30hec • Advanced level A2E. Sustainable Development, Uppsala 2017 . https://stud.epsilon.slu.se/10280/1/sha_b_170913.pdf
194. CE (2022): RÈGLEMENT (UE) 2022/2388 DE LA COMMISSION du 7 décembre 2022 modifiant le règlement (CE) no 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en substances perfluoroalkylées dans certaines denrées alimentaires le nouveau règlement (UE) 2022/2388. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022R2388>
195. Karg. F. (2023) : Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant. Minutes du Congrès Atmosfair, Paris 27 & 28/06/2023. <https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-AtmosFair-KARG-HPC-INTERNATIONAL-27-06-2023-F.pdf> <https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Atmosfair-Karg-HPC-INTERNATIONAL-E-2023.pdf>
196. Kolossa-Behring. M. / UBA : HBM4EU (Human Bio Monitoring for Europe) : Résultats de Biomonitoring et de Bio-accumulation des PFAS : Minutes du Congrès PFAS, le 20 Septembre 2022 à Paris. https://www.saturne.net/mud/index.php?d=pfas_congress22_abstracts_pg
197. Jailler, M., Rousselle, C., Karg, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 1. Connaissances générales. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
198. <https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
- 199.

-
200. Lanoy, L., Staub, P.-F., Franques, N., Bouhoulle, E., Karg, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 2. Cadre réglementaire et juridique. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
201. Karg, F., Heilier, J.-F., Pradier, F., Triau, O., Rousselle, C., Jailler, M. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 3. Hiérarchisation des sources de pollution : Exemple de la Ville de Lyon concernant les ERP sensibles. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
202. Karg, F., Rousselle, C. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 4. Devenir dans l'Environnement et Biotransformation / Chimie Environnementale. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
203. Peureux, S., Passador, A., Karg, F., Beri, S., Jailler, M. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 5. Méthodes des prélèvements : Sols, Eaux et Air. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
204. Peureux, S., Passador, A., Beri, S., Karg, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 6. Méthodes d'analyses : Sols, Eaux, Air. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
205. Bouhoulle, E., Jacquemin, P., Jailler, M., Jailler, M., Karg, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 7. Bruit de fond. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
206. SFSE, Jailler, M., Karg, F., Bouhoulle, E., Le Bonniec, S., Robin-Vigneron, L. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 8. Comportement dans l'Environnement : Paramètres physico-chimiques des PFAS. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
207. Heilier, J.F., Rousselle, C., Karg, F., Ronga, S., Charlate, P., Pouzaud, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 9. Toxicité et Valeurs Toxicologiques de Référence. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
208. Karg, F., Heilier, J.-F., Ronga-Pezeret, S., Rousselle, C., Bouhoulle, E. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 10. Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires et mélanges. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
209. Rousselle, C., Ruthy, I., Jacques, A., Bouhoulle, E., Karg, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 11. Données de Biomonitoring Humain. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
210. Karg, F., Rousselle, C. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 12. Méthodes de dépollution des sols. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
211. Karg, F., Rousselle, C. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 13. Méthodes de dépollution des eaux souterraines et traitement des eaux usées et de l'eau potable. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>
-

212. Karg, F., Rousselle, C. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 14. Méthodes d'assainissement des gaz du sol et de l'air ambiant. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.
<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>