



PFAS

PER- AND POLY-FLUOROALKYL SUBSTANCES

Gestion des pollutions et des risques sanitaires Management of Environmental & Health Risks

20/10/2022 - Paris



Ministry of
Environment and Energy



science and policy
for a healthy future



LAURENCE LANOY AVOCATS
Cabinet spécialiste en droit de l'environnement



PROMISCES





Programme

Présidents :

- Dr. Frank Karg, SFSE & HPC International
- Dr. Christophe Rousselle, SFSE & ANSES

09h00

Accueil des participants

09h30

PFAS : Gestion réglementaire et juridique des pollutions (Union Européenne & France)

Me. Laurence Lanoy, Docteur en Droit / Avocat, Spécialiste en Droit de l'Environnement - Laurence Lanoy Avocats (France)

10h00

PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

Dr. Frank Karg, Président - HPC International France & Allemagne, Directeur Scientifique - Groupe HPC AG, Expert de Justice Française & Membre ARET, SFSE, ITVA

10h30

Pause-café / Thé

11h00

PFAS : présence dans les eaux souterraines et les sols : expériences de gestion à Hambourg / Allemagne

Astrid Klose, Cheffe d'Unité - BUKEA: Ministère de l'Environnement, du Climat, de l'Énergie et de l'Agriculture (Allemagne)

11h30

Définition des sources de PFAS par des méthodes statistiques multivariées : une analyse médico-légale multivariée pour détecter l'origine de la contamination par les PFAS dans le nord de l'Italie

Dr. Carlo Monti, Directeur Général, Pratique médico-légale - TIG Environmental (Suisse)

12h00

Guide de gestion des PFAS de la SFSE : sources, chimie environnementale, évaluation des risques
Marie Jailler, Secrétaire de la Section Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires - SFSE (Société Francophone de Santé Environnement) et Expert senior au sein du service des évaluations des risques sanitaires et environnementaux – SPAQuE (Belgique)

12h30

Déjeuner

14h00

Les effets des PFAS sur la santé humaine : que savons-nous ?

- *Dr. Sylvaine Ronga-Pezeret, Médecin Toxicologue – SFSE (Société Francophone de Santé Environnement) & Service des Etudes Médicales d'EDF (France)*
- *Pascal De Giudici, Ingénieur Conseil en Santé-Environnement (France)*

14h30

Résultats concernant le programme européen HBM4EU sur la biosurveillance des polluants avec un focus sur les PFAS

Dr. Marike Kolossa-Gehring, Coordinatrice du programme conjoint européen HBM4EU & Responsable de la section Toxicologie, Surveillance environnementale liée à la Santé - UBA / Umweltbundesamt – Agence allemande de l'Environnement (Allemagne)

15h00

Gestion des polluants toxiques et notamment les PFAS, par l'Alliance Renault-Nissan-Mitsubishi

Dr. Philippe Rolland, Membre de l'ARET & Expert Substances du Groupe Renault (France & Monde)

15h30

Pause-café / Thé

15h45

La contamination par les PFAS des aquifères de la région centrale de la Vénétie en Italie

Dr. Paolo Ronco, Responsable de la recherche, de l'innovation et de la durabilité - Centro RIVE, Centre des ressources en eau de Vénétie (Italie)

16h15

Exposition de la population française aux composés perfluorés (PFAS), résultats du programme national de biosurveillance (ESTEBAN)

Amivi Oleko, Chargée d'études en biosurveillance - Santé Publique France

16h45

Le projet H2020 PROMISCES : pour une économie circulaire exempte de PFAS ?

- *Julie Lions, Hydrogéochimiste & Corinne Merly, Hydrogéologue environnementale – BRGM (France)*
- *Pierre Boucard, Economiste de l'environnement – Ineris (France)*

17h15

Développements futurs dans la gestion des PFAS en France et en Europe

Dr. Frank Karg, Président - HPC International France & Allemagne, Directeur Scientifique - Groupe HPC AG, Expert de Justice Française & Membre ARET, SFSE, ITVA

17h30

Fin du congrès



Programme

Chairs:

- Dr. Frank Karg, SFSE & HPC International
- Dr. Christophe Rousselle, SFSE & ANSES

09h00

Welcoming participants

09h30

PFAS: Management by Regulations: European Union & France

Me. Laurence Lanoy, Doctor of Law / Lawyer, Specialist in Environmental Law – Laurence Lanoy Avocats (France)

10h00

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)

Dr. Frank Karg, CEO-President - HPC International France & Germany, Scientific Director - Groupe HPC AG, French Court Expert & Member of ARET, SFSE, ITVA

10h30

Break for Coffee and Tea

11h00

PFAS: Presence in Groundwater and Soils: Management experiences in Hamburg / Germany

Astrid Klose, Head of Unit - BUKEA: Ministry of Environment, Climate, Energy and Agriculture (Germany)

11h30

Defining the sources of PFAS by multivariate statistical methods: A multivariate forensic analysis to detect the origin of PFAS contamination in Northern Italy

Dr. Carlo Monti, Managing Director, Forensics Practice - TIG Environmental (Switzerland)

12h00

SFSE PFAS management Guideline: Sources, Environmental chemistry, Risk assessment

Marie Jailler, Secretary of the Health Risk Assessment Methodology Section - SFSE (French-speaking Health and Environment Society) and Expert in the Health and Environmental Risk Assessment Department - SPAQuE (Belgium)

12h30

Lunch Break

14h00

Health effects of PFAS: what do we know?

- *Dr. Sylvaine Ronga-Pezeret, Medical Toxicologist – SFSE (French-speaking Health and Environment Society) & EDF Medical Studies Department (France)*
- *Pascal De Giudici, Consulting Engineer in Environmental Health (France)*

14h30

Results of the European Program HBM4EU on Biomonitoring of Pollutants with focus on PFAS

Dr. Marike Kolossa-Gehring, Coordinator of the European Joint Programme HBM4EU & Head of Section Toxicology, Health-related Environmental Monitoring, UBA / Umweltbundesamt – German Environment Agency (Germany)

15h00

Management of toxic Compounds and especially PFAS, by the Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance

Dr. Philippe Rolland, Member of ARET & Substances Expert of Groupe Renault (France & Worldwide)

15h30

Break for Coffee and Tea

15h45

The PFAS contamination to Aquifers of central Veneto Region in Italy

Dr. Paolo Ronco, Head of Research, Innovation and Sustainability – Centro RIVE, Center for Water Resources of Veneto (Italy)

16h15

Exposure of the French population to perfluorinated compounds (PFAS), Results of the National Biomonitoring program (ESTEBAN)

Amivi Oleko, Biomonitoring Researcher - French Public Health Institute

16h45

The H2020 project PROMISCES to help establish a zero PFAS pollution circular economy?

- *Julie Lions, Hydrogeochemist & Corinne Merly, Environmental Hydrogeologist – BRGM (France)*
- *Pierre Boucard, Environmental Economist – Ineris (France)*

17h15

Future developments in PFAS management in France and Europe

Dr. Frank Karg, President-CEO - HPC International France & Germany, Scientific Director - Groupe HPC AG, French Court Expert & Member of ARET, SFSE, ITVA

17h30

End of the congress



Laurence LANOY
Attorney -
Managing Partner
Ph.D in Law. Specialization certification in
environmental law
3, rue Antoine Arnauld • 75016 PARIS
Tel. +33 (0)1 45 20 13 10 •
llanoy@laurencelanoy.com

PFAS : Regulatory and legal management of pollution

Per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) belong to a large family of endocrine disruptors used in many industrial processes and in the manufacture of everyday objects. Indeed, due to their unique properties, these substances can be used as anti-stick coatings for kitchen utensils, food packaging materials, but also in textiles or furniture due to their oil and water repellent action.

The harmful effects of PFAS on health have been progressively but slowly revealed under the impulse of European institutions. Thus, these endocrine disruptors have an impact on the immune system and are also the cause of elevated cholesterol levels, diabetes, obesity, liver disorders and fertility problems. In addition, PFOA, a PFAS compound, is carcinogenic.

Due to its non-degradable and mobile nature in the environment, PFAS accumulate in living organisms and in the environment and are thus likely to be found in surface water, groundwater, soil, ambient air and therefore in foodstuffs, drinking water and everyday objects.

Awareness of these substances and their effects is both recent and major: monitoring and control measures of PFAS in the environment are necessary to restrict the use of these compounds and reduce exposure and risk to human health as much as possible.

Laurence Lanoy, lawyer specialized in environmental law, will explain the regulations applicable to these substances and those to come in view of the stated objectives of the European institutions for their strict limitation, before presenting the issues related to their management and the possible solutions for the remediation of the sites.

* * *

Attorney at law since 1990 and Ph.D in law, Laurence Lanoy has developed an in-depth practice in environmental law before founding the firm Laurence Lanoy Avocats in 2005. She advises and assists national and international companies, public authorities, and international law firms, particularly in environmental and sustainable development law, mining law and energy law.



Laurence LANOY
Docteur en droit
Avocat / Spécialiste en droit de l'environnement
3, rue Antoine Arnauld • 75016 PARIS
Tél. +33 (0)1 45 20 13 10 •
llanoy@laurencelanoy.com

PFAS : Gestion réglementaire et juridique des pollutions

Les substances per et polyfluoroalkyliques (PFAS) appartiennent à une grande famille de perturbateurs endocriniens utilisés dans de nombreux processus industriels et la fabrication d'objets de la vie quotidienne. En effet, par leurs propriétés uniques, ces substances peuvent être utilisées notamment en tant que revêtements anti adhérents d'ustensiles de cuisine, matériaux d'emballage d'aliments mais également dans les textiles ou ameublements grâce à leur action de répulsion des huiles et de l'eau.

Les effets nocifs sur la santé des PFAS ont progressivement bien que tardivement été révélés sous l'impulsion des institutions européennes. Ainsi ces perturbateurs endocriniens impacteraient le système immunitaire et seraient également à l'origine d'élévations du taux de cholestérol, de diabète, d'obésité, de troubles hépatiques, de troubles de la fertilité et d'une réduction des hormones thyroïdiens. De plus, le PFOA, un composé PFAS, est cancérogène.

Par le caractère non dégradable et mobile dans l'environnement des PFAS, ceux-ci s'accumulent dans les organismes vivants et dans l'environnement et sont ainsi susceptibles de se retrouver dans les eaux de surfaces, les eaux souterraines, les nappes phréatiques, les sols, dans l'air ambiant et donc dans les denrées alimentaires, les eaux de consommation et les objets du quotidien.

La prise de conscience relative à ces substances et leurs effets est à la fois récente et majeure : des mesures de surveillance et de limitation des PFAS dans l'environnement s'imposent afin de restreindre l'usage de ces composés et de réduire au maximum l'exposition et les risques pour la santé humaine.

Laurence Lanoy, avocat spécialiste en droit de l'environnement, exposera les réglementations applicables à ces substances et celles à venir au vu des objectifs affichés des institutions européennes pour leur limitation stricte, avant de présenter les enjeux relatifs à leur gestion et les solutions envisageables pour la dépollution des sites.

* * *

Avocat depuis 1990 et Docteur en droit, Laurence Lanoy a développé une pratique approfondie en droit de l'environnement avant de fonder en 2005 le cabinet Laurence Lanoy Avocats. Elle conseille et assiste des entreprises nationales et internationales, des collectivités publiques et des cabinets d'avocats internationaux notamment en droit de l'environnement et du développement durable, en droit minier et en droit de l'énergie.



PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

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)

Dr. Frank Karg: Directeur Scientifique du Groupe HPC (INOGEN JV) &
Président d'HPC INTERNATIONAL / 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

1. Introduction

PFAS : Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances toxiques sont devenues depuis des années 1960 doucement un grand problème Environnemental et pour la Santé Publique, car leur application était (et l'est toujours) multiple et vaste. **Seulement depuis 2010 à 2015 la conscience publique a commencée doucement de comprendre la menace environnementale et pour la Santé Publique par les PFAS.** Par conséquence, nous trouvons aujourd’hui les PFAS dans les sols, les eaux souterraines, les aliments et l'eau potable ainsi qu'une famille des **PFAS volatils, les FTOH : Fluorotélomère-Alcools** dans les **Gaz du sol et de l'Air ambiant. Plus de 9 000 polluants synthétiques de PFAS ont été produits. Ils sont, non-existent naturellement.**

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) [26 – 67, 88, 123].

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) ont été utilisés, ou sur les terrains agricoles** (où des boues de STP : Stations d'Epuration ont été apportés, car ils comportent des PFAS accumulés).

En Allemagne on compte env. 40 000 – 50 000 sites contaminés par des PFAS et en France env. 15 000 – 25 000 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**. 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**.

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 Gas 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 réalisé, 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

PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

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 – 25]:

- 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 contentant 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 Fluorotéloromére-alcooles (**FTOH**), etc. (dont plus **29 autres groupes...**). Certains entre eux, comme par

PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

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

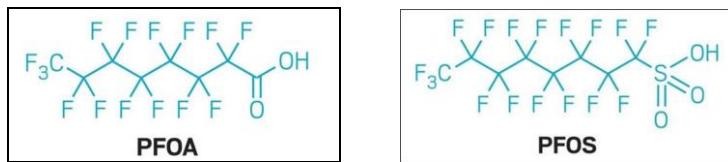


Fig. 1a & b : Formules structurelles des PFOA & PFOS

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 [7, 24, 25]. 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.).

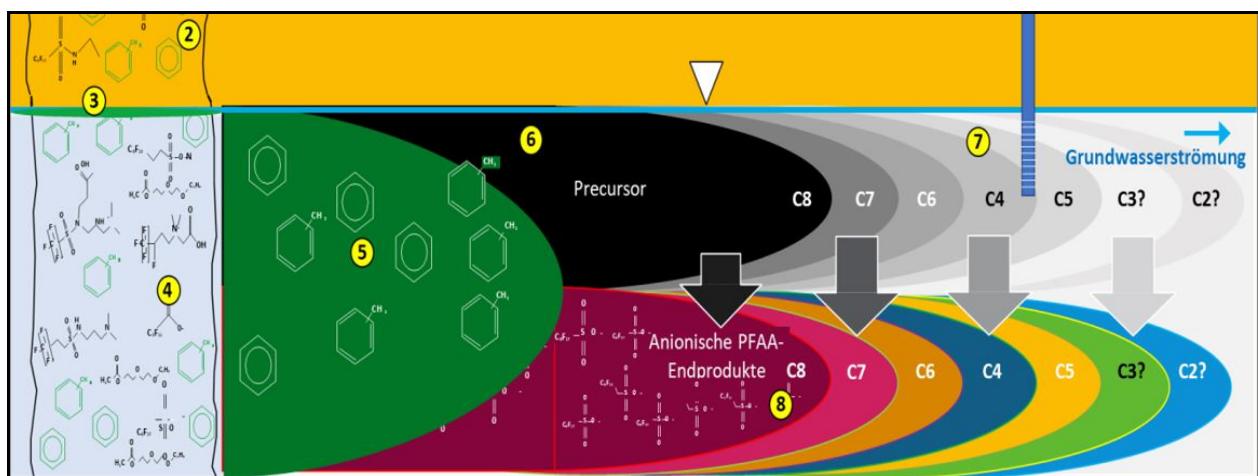


Fig. 2 : Schéma de Biotransformation des PFAS poly-fluorés (Précurseurs) vers des PFAS per-fluorés (UBA 2020) [85]

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 fluorotéloromères 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 Fluorotéloromère alcohols (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).

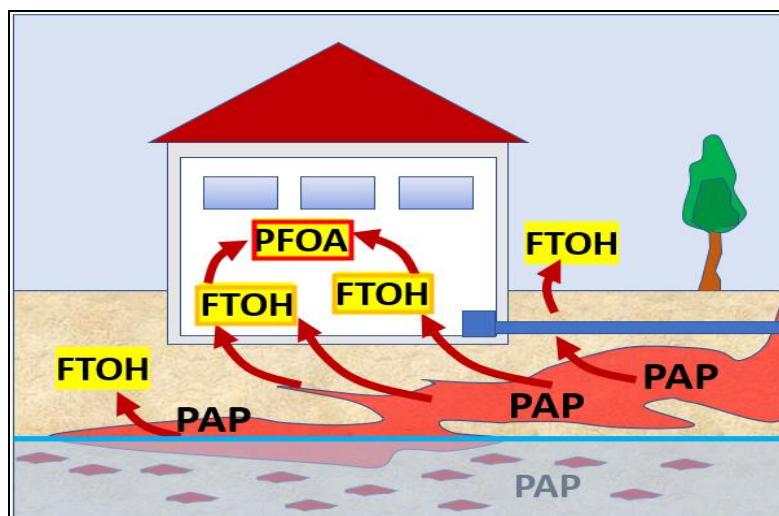


Fig. 3 : Exemple de **biotransformation des Alkylphosphates polyfluorés (PAP)** dans les sols et eaux souterraines vers les **Fluorotéloromère alcohols (FTOH)** volatils et en PFAS per-fluorés stables, comme par ex. le **PFOA** cancérigène L. KOPF, 2017 et F. KARG, 2021 & 2022 [25, 125, 127, 128].

Le Schéma en Fig. 4 montre un **exemple de la biotransformation du 8:2-FTOH ($\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) via des produits intermédiaires vers des PFAS perfluorés stables**, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoro-pantanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA**, l'**Acide 7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérogène**.

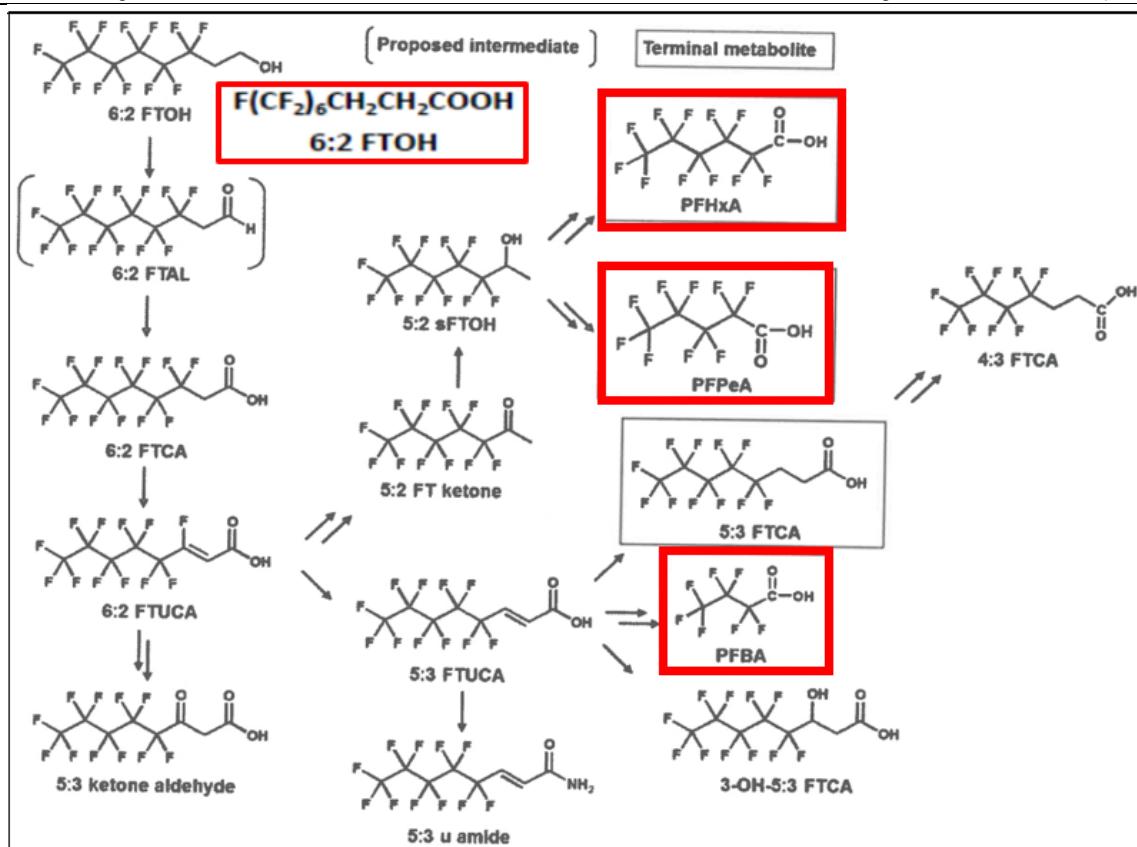


Fig. 4a : Biotransformation des Fluorotéloromère alcools ; exemple du **6:2-FTOH** ($F(CF_2)_6CH_2CH_2OH$) via des produits intermédiaires vers des PFAS per-fluorés stables, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoropentanonic) et le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic) (L. Kopf / DHBW – LUBW – HPC : 2017) [25].

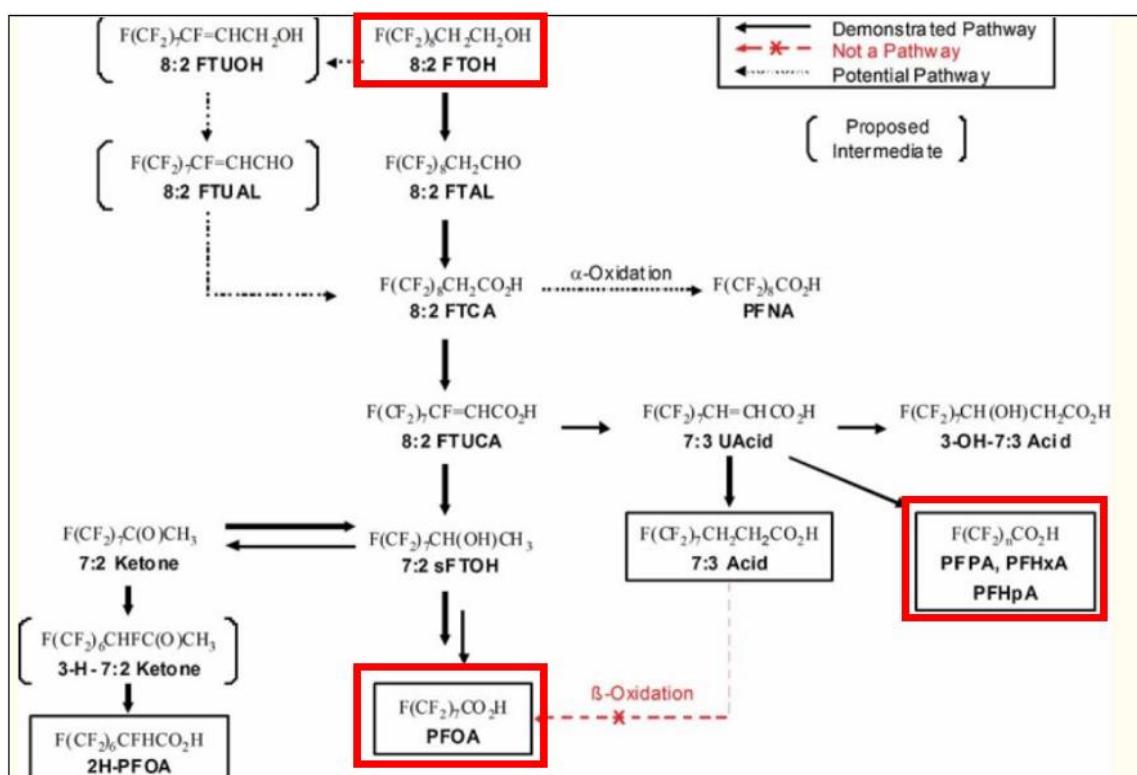


Fig. 4b : Biotransformation des Fluorotéloromère alcools ; exemple du **8:2-FTOH** ($F(CF_2)_8CH_2CH_2OH$) via des produits intermédiaires vers des PFAS per-fluorés stables, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoropentanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA**, l'**Acide 7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérogène** [98].

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..

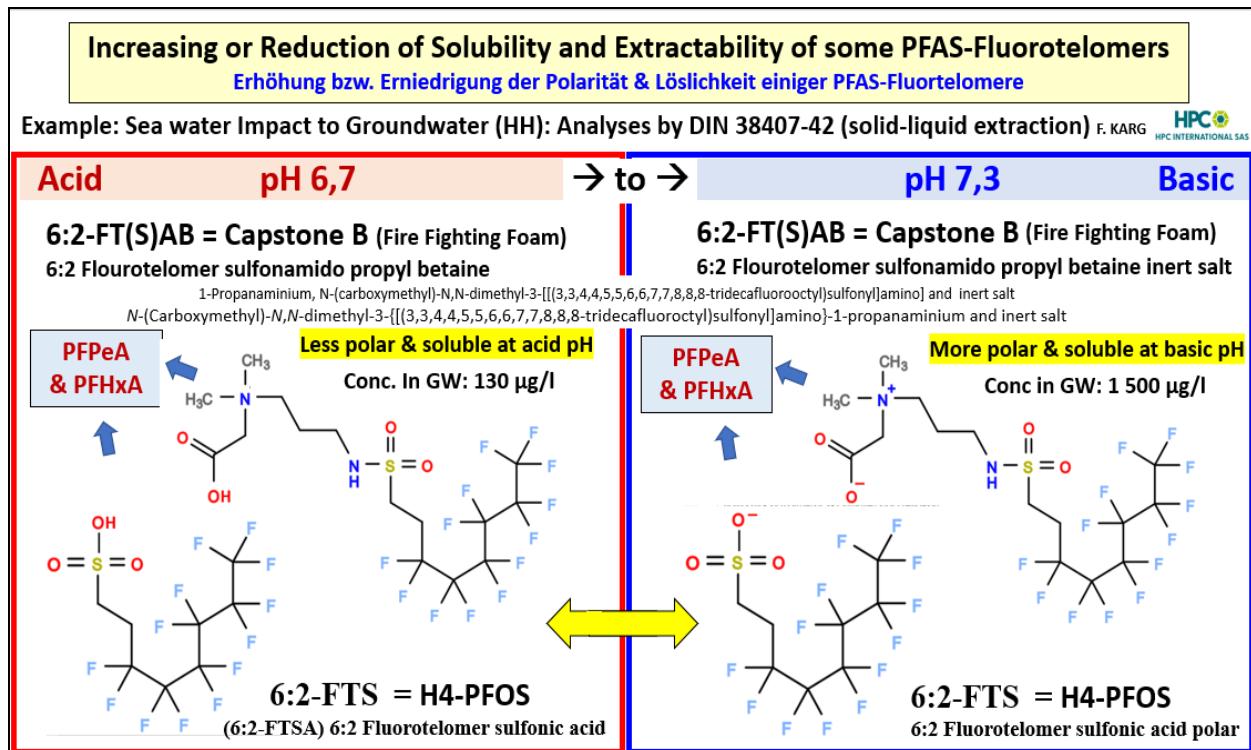


Fig. Capstone B: Différences de la solubilité et de l'extractabilité de 6:2-FTAB & 6:2-FTS en dépendance du pH par intrusion de l'eau de mer dans les sols et les eaux souterraines, observé sur des sites du Port de Hamburg / en Allemagne en 2022 (F. KARG 2022) [127 & 128]

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.

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

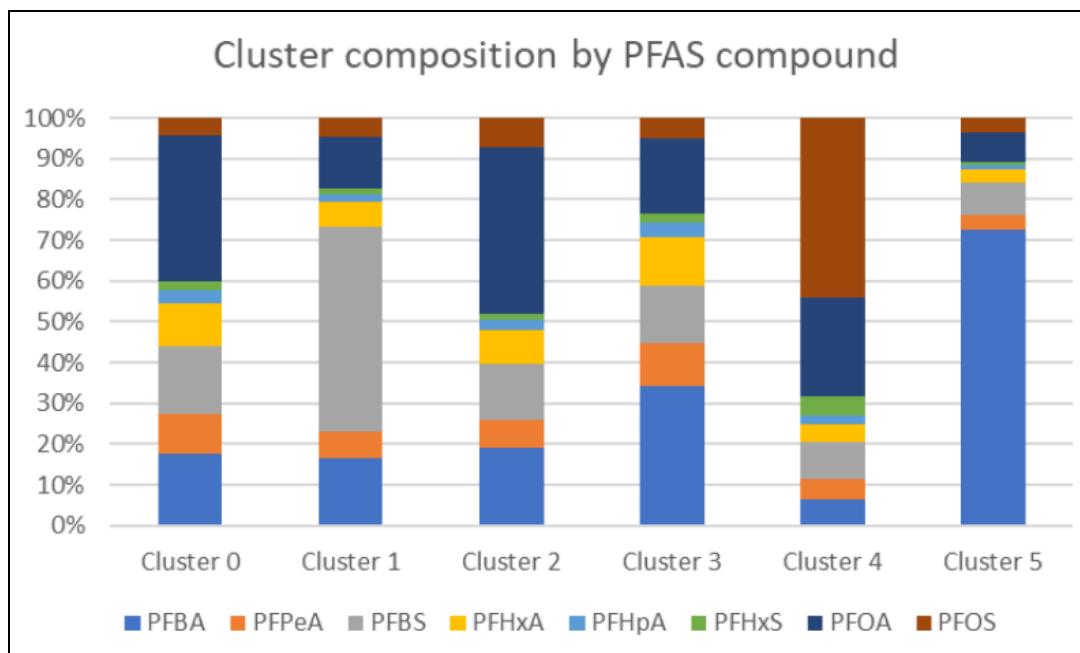


Fig. 5 : Clusters typiques des PFAS (MONTI et al. 2021) [96]

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.

Il est recommandé d'intégrer dans les diagnostics des contaminations par les PFAS au minimum les polluants suivants :

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTRs existantes
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	Oui
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	Oui
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	Oui
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	Oui
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	Oui
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	Oui
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	Oui
8	Acide perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	Oui
9	Acide perfluoro-hexane-sulfonique	PFHxS	Oui
10	Acide perfluoro-heptane-sulfonique	PFHpS	Oui
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	Oui
12	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	associé au PFOS
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	Oui
14	6:2 Fluorotélomère alcool	6:2-FTOH	Oui
15	8:2 Fluorotélomère alcool	8:2-FTOH	Oui

Si possible:			
16	Perfluorobutane sulfonate	PFBS	Oui
17	Perfluoropentane sulfonate	PFPeS	Oui
18	Perfluorohexane sulfonate	PFHxS	Oui
19	Perfluoroheptane sulfonate	PFHpS	Oui
20	Perfluorodecane sulfonate	PFDS	Oui
21	Acide perfluoro-undecanoïque	PFUnDA	Oui
22	Acide perfluoro-dodecanoïque	PFDoDA	Oui
23	Acide perfluoro-tridecanoïque	PFTrDA	Oui
24	Acide perfluoro-tetradecanoïque	PFTeDA	Oui
25	Acide perfluoro-hexadecanoïque	PFHxDA	Oui
26	Acide perfluoro-octadecanoïque	PFODA	Oui
27	Acide Hexafluoro-propylèneoxydimer	HFPO-DA	Oui
28	Acide 3H-perfluoro-3-[3-methoxy-propoxy]propanoïc	ADONA	Oui

Evaluation des Risques Toxicologiques :

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 [25, 78 – 95, 123]. L'AFSET 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.

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. 6).

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	-
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	-	3
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	6	-
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	-	0,3
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	0,1	-
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	0,06	-
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	-	0,1
8	Acide perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	6	-
9	Acide perfluoro-hexane-sulfonique	PFHxS	0,1	-
10	Acide perfluoro-heptane-sulfonique	PFHpS	-	0,3
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	0,1	-
12	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	-	0,1
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	-	0,1

Fig. 6 : Valeurs limites 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 [18].

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 conséquence, 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 Maximalement Acceptables) 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 [100 – 122].

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 Wienecke et al. sous forme des **RPF : Relative Potency Factors** (cf. Fig. 7).

Per- and polyfluorinated congeners	RPF
Sulfonic acids	
PFBS	0.001
PFPeS*	$0.001 \leq \text{RPF} \leq 0.6$
PFHxS	0.6
PFHpS*	$0.6 \leq \text{RPF} \leq 2$
PFOS	2
PFDS*	2
Carboxylic acids	
PFBA	0.05
PFPeA*	$0.01 \leq \text{RPF} \leq 0.05$
PFHxA	0.01
PFHpA*	$0.01 \leq \text{RPF} \leq 1$
PFOA	1
PFNA	10
PFDA*	$4 \leq \text{RPF} \leq 10$
PFUnDA	4
PFDoDA	3
PFTrDA*	$0.3 \leq \text{RPF} \leq 3$
PFTeDA	0.3
PFHxDA	0.02
PFODA	0.02
Ether carboxylic acids	
HFPO-DA	0.06
ADONA	0.03
Telomer alcohols	
6:2 FTOH	0.02
8:2 FTOH	0.04

* 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. 7 : Facteurs d'équivalence de toxicité sous forme des RPF : Relative Potency Factors (Wienecke et al. 2020).

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 Fig. 8 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.

No	TRD: Toxicological Reference Dose Choice Criteria	Appreciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion
1	Variability of indicated TRD	(+/- 0 %)	≤ (+/- 30 %)	> (+/- 30 %)	
2	Class (potential) Carcinogenic: EC: Class 3/ US-EPA: Class B2, C / IARC: Group 1	3 Organisms : CE, US-EPA, IARC, etc.	2 Organisms	1 Organisms	
3	Several Organisms shows similar TRD (+/- 50 %)	≥ 3 Organisms	2 Organisms	1 Organism	
4	Age of base Study	≤ 15 a	15 – 25 a	< 25 a	
5	Mechanistic toxicological basement Study (for ex. Genotoxicity):	Epidemiology	Mamifer	In-Vitro / In-silico	
6	Basement Study : Klimisch Quality Criteria	Class 1	Class 2	Class 3	Class 3
7	Verified Purity of Compound	Yes	< 95 %	No	
8	Excipient potentially toxic	Non		Yes	
9	Presence of population without exposure (test witness)	Yes		No	
10	General Quality Criteria (Klimisch) of toxicological effect studies	Standardized Study (OCDE, UE, US EPA, FDA, etc.)	Standardized Study without Details, but correctly documented	Document insufficient for evaluation, systematic deficiencies	
11	POD : Point of Departure	Quantified Epidemiological Data, BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL sensitive NOAEL	LOAEL sensitive, LOAEL, Other	
12	Uncertainty (or Assessment) Factors	1 – 100	> 100 – 1000	> 1 000 – 10 000	> 10 000
13a	Transpositions: Between Exposure Pathways	Non		Yes	
13b	Transposition: Animal to Human	Non	Yes		
13c	Transpositions : From in-Vitro	Non		Yes	
13d	Transpositions : From in-Silico	Non		Yes	
14	Study time-representatively	≥ chronic (> 180 d)	sub-chronic (90 d) to chronic (180 d)	< sub-chronic (< 90 d)	
15	Integration of bio-disponibility / Bio-resorption capacity (ex.: DIN 19 738)	Yes	Not known (100 %)	Known, but not considered	

Fig. 8 : Critères de choix des VTR (F. KARG 2021)

Basé sur des critères de choix, il est possible de choisir par ex. les **VTR** indiquées en Fig. 9 en début 2022. 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.

Substance	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sigle	Security Factor	Organization
		Exposure path	Target organ	Value				
PFBA	NC	oral	Hepatic	2,9 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / 2400	TCEQ 2016
		inhalation	Hepatic	10 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFPeA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHxA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHpA	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rate	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017
PFOA	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rate	TDI	BMDL5	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
			Hepatic, Mammar, Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RfD	LOAEL (81*100)	TECQ 2016
		inhalation	Hepatic	4,1 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81*3000)	TCEQ 2016
	C	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d)⁻¹	Epidemio	SF	-	New Jersey 2017
PFNA	NC	oral	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampshire DES 2019
		inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2018
PFDA	NC	oral	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
		inhalation		53 ng/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,9 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and thyroidal	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
		inhalation		13 ng/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	NC	oral	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
		inhalation	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m³	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2016
PFOSA	NC	oral	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	Same than PFOA NOAEL/(81*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,1 ng/m³	Rate	RfC	same than PFOA NOAEL/(81*3000)	TCEQ 2016

Fig. 9 : Choix de certains VTR selon les critères en Fig. 7 (F. KARG 2021) :

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

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

Une étape complémentaire de l'EQRS (ou ARR, TERQ, HRA) est la définition des Valeurs de contrôle de conformité sanitaire, sous forme des CMA (Concentration Maximalement Acceptables) en intégrant une additivité des risques des polluants concernant les mêmes cibles et effets toxicologiques

PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

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 Journalier d'Exposition par rapport à la Dose Journalière Tolérable). Les CMA sont couramment utilisées sous forme des 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, un Bilan Coût-Avantages des modalités et technologies différentes de gestion et des traitements.**

5. 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 couteux, 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.

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. Les applications in situ pour les eaux souterraines sont possibles mais ont besoin d'une **étude de faisabilité technico-économique** (cf. Fig. 10).

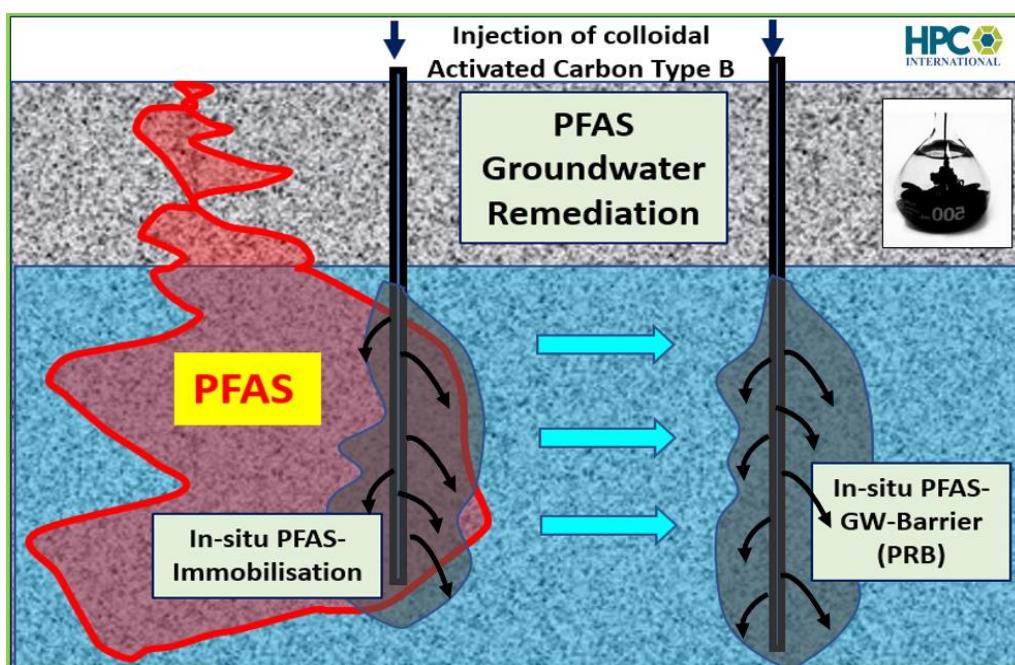


Fig. 10 : Application des traitements in-situ par Charbon actif colloïdal de Type B (F. KARG 2021-2022) [125, 127-129]

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

HPC
HPC INTERNATIONAL SAS

Some operative Treatment Technology examples (GW & Leachate):

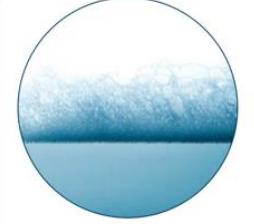
Groundwater & Soil Washing Leachate: Adsorption on Protein-Polymers & RemBind (Kaolinites, Humic acids), chemical Coagulation by Al(OH) _x (in- & ex-situ): SENSATEC			
➤ Adsorption on Liquid Activated Carbon (in & ex-situ): Regnesis + Others	➤ Concentrations by air/water Interface Foam (ex-situ): ALLONIA	➤ Concentrations by biodegradable Flocculant (ex-situ): Cornelsen/TRS	➤ Modified Clay Adsorbents (ex-situ): CETCO & ETEC2
  <small>Courtesy of Regnesis</small>	SAFF® Foam Fractionation  <small>Courtesy of Allonia</small>	PerfluorAd®  <small>Courtesy of Cornelsen/TRS</small>	FLUOROSORB®  <small>Courtesy of CETCO</small>

Fig. 11 : Technologies des traitements différents des eaux [128, 129].

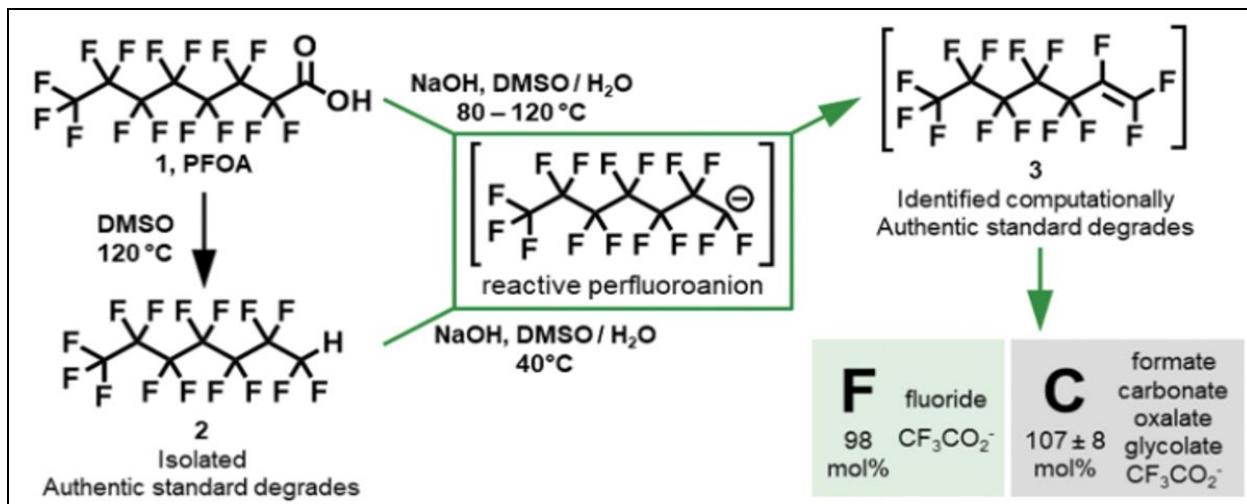


Fig. 12: Minéralisation à basse température : Applicable pour des lixiviats des lavages des sols, et des eaux usées et traitement des lixiviats par défluoruration de NaOH et minéralisation à basse température à 80 - 100 °C de carboxylique contenant du PFAS (Brittany TRANG et al. 2022) [126].

Dans les eaux superficielles, les PFAS pourront aussi être piégés par l'adsorption via des microalgues [25, 97].

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'intérieur 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. 13 & 14 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. 13a & b).

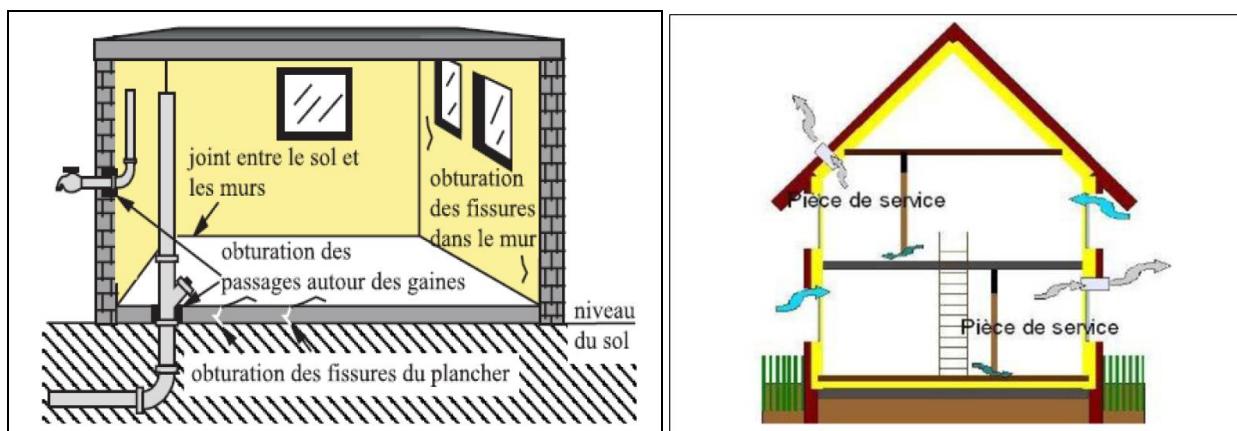


Fig. 13a & b: Example des dispositifs constructifs de gestion possibles (ROBE & BRGM 2014) et [121, 124] Ventilation naturelle par balayage [121, 124].

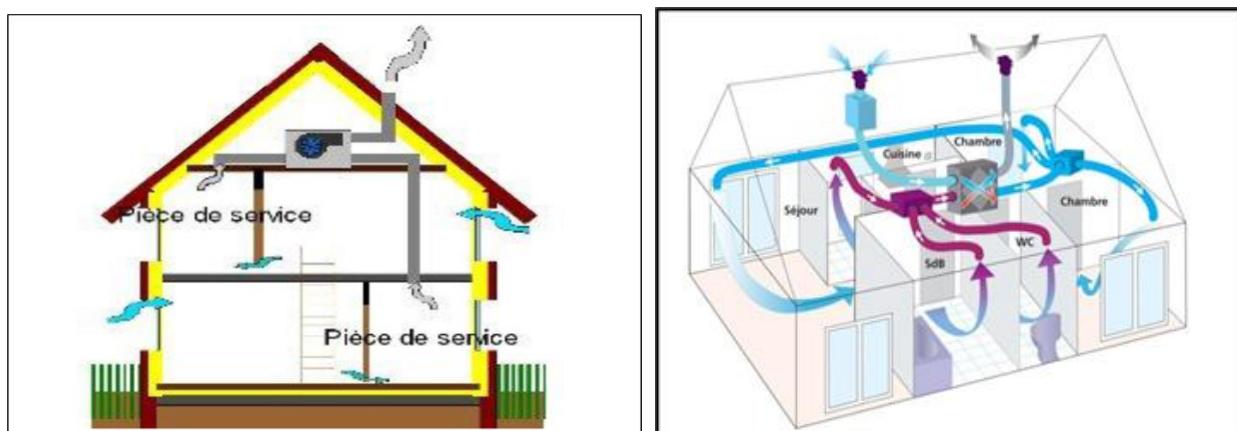


Fig. 14c & d : Ventilation à VMC simple flux à balayage et Ventilation à VMC double flux [124]

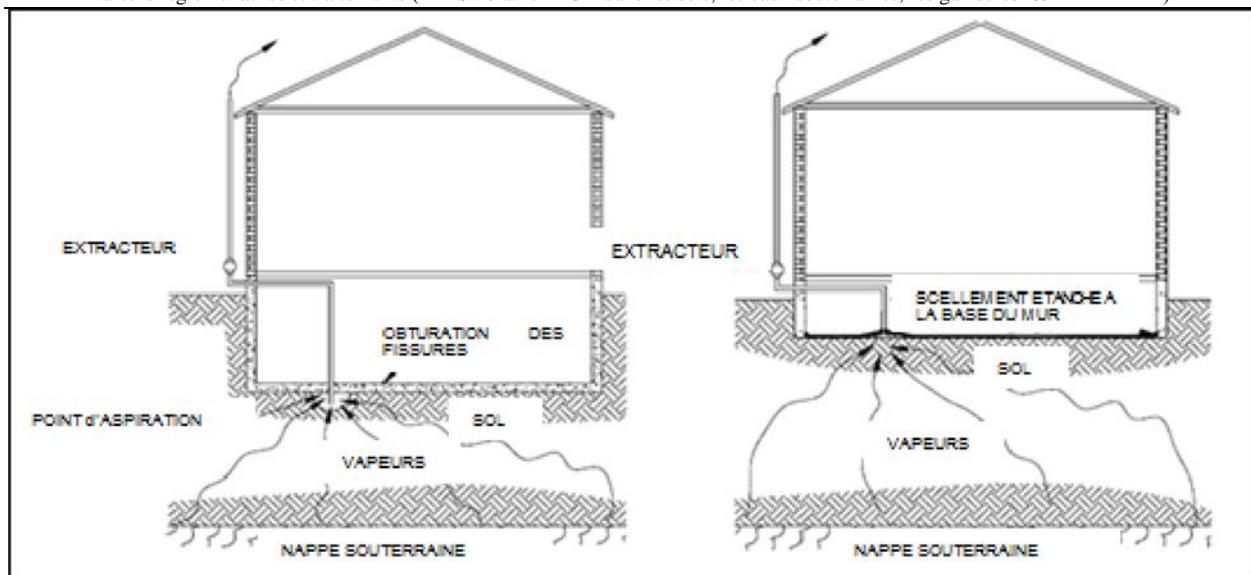


Fig. 15a & b : Dépollution et/ou prévention par Venting sous forme de Dépressurisation sous-sol (SDS) et dépressurisation Sous Dalle par extraction des gaz et vapeurs des polluants de type FTOH & COV (SDSD) [124]

Les Fig. 16a-h montrent des mesures constructives des étanchéifications contre des intrusions dans les bâtiments des FTOH et COV et les Fig. 17a-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 Spraying	Et. des fondations

INOGEN[®] ALLIANCE

Fig. 16a-h : Mesures constructives des étanchéifications contre des intrusions dans les bâtiments des FTOH et COV.

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

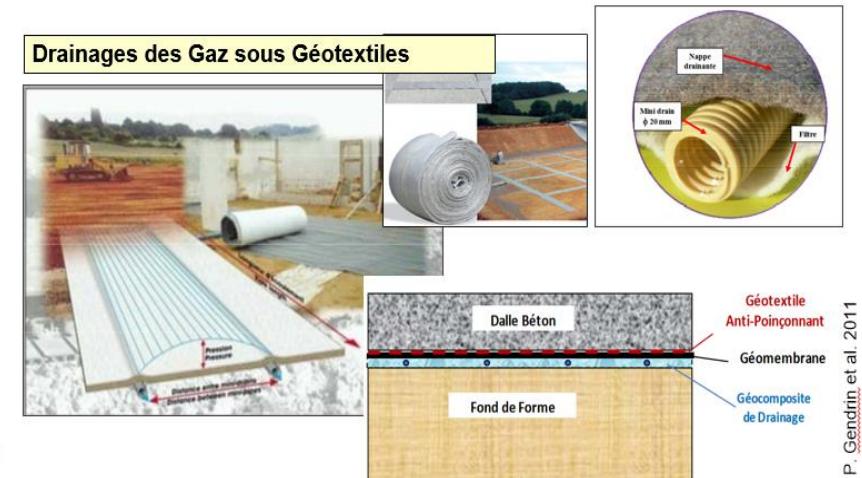


Fig. 17a-d : Dispositifs constructives de dépollution et de prévention possibles via des drainages des gaz (drainages conduites et drainages sous forme des tapis), Gendrin et al. 2011

6. Conclusion

Il existe plus que 9 000 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 fluorotéiomères. 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 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, eaux souterraines, Gaz du sol et l'Air ambiant. Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économiques. **Une liste minimum des PFAS à investiguer lors des diagnostics de pollution et des évaluations des risques sanitaires est recommandée.**

7. Références

1. ITRC (2020): History and use of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): New Jersey Department of Environmental Protection. https://pfas-itrcweb.org/fact_sheets_page/PFAS_Fact_Sheet_History_and_Use_April2020.pdf

2. 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 Leeuwen, S.P.J. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integr. Environ. Assess. Manag.* **2011**, *7*, 513–541.
3. 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. [CrossRef] [PubMed]
4. 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>
5. 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-esfa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
6. US EPA. EPA and 3M Announce Phase out of PFOS. Available online: https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html
7. 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. [CrossRef] [PubMed]
8. 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. [CrossRef] [PubMed]
9. 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. [CrossRef] [PubMed]
10. European Parliament. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006. Off. J. Eur. Union **372**, 32–34.
11. 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>.
12. Maga, D.; Aryan, V.; Buzzano, S. Environmental assessment of various end-of-life pathways for treating per- and polyfluoroalkyl substances in spent fireextinguishing waters. *Environ. Toxicol. Chem.* **2020**. [CrossRef]
13. 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. [CrossRef]
14. 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. [CrossRef]
15. 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_pfas_incineration_ioaa_approved_final_july_2019.pdf
16. Avendaño, S.; Liu, J. Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. *Chemosphere* **2015**, *119*, 1084–1090. [CrossRef]
17. Eggen, T.; Moeder, M.; Arukwe, A. Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 5147–5157. [CrossRef]
18. 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. [CrossRef]

19. 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\(arndl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:arndl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(arndl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:arndl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X)
20. 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. [[CrossRef](#)]
21. Sinclair, E.; Mayack, D.T.; Roblee, K.; Yamashita, N.; Kannan, K. Occurrence of perfluoroalkyl surfactants in water, fish, and birds from New York State. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2006**, *50*, 398–410. [[CrossRef](#)]
22. Ghisi, R.; Vamerali, T.; Manzetti, S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 326–341. [[CrossRef](#)]
23. 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. [[CrossRef](#)]
24. Karg, F. (2021): Per et Polyfluoro Alkyl Substances: Pollution environnementale et Risque pour la Santé. 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/>
25. Kopf, L ; (2017) : Biotransformationsprozesse von Fluortelomeralkoholen/ PFC-Chemismus und FTOH-Analytik in der Bodenluft. Duale Hochschule Baden-Württemberg, Karlsruhe TSHE14.
26. 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. [[CrossRef](#)]
27. 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.[[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Leary, D.B.; Takazawa, M.; Kannan, K.; Khalil, N. Perfluoroalkyl substances and metabolic syndrome in firefighters. *J. Occup. Environ. Med.* **2020**, *62*, 52–57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. 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. [[CrossRef](#)]
30. 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. [[CrossRef](#)]
31. 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. [[CrossRef](#)]
32. 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. [[CrossRef](#)]
33. Lau,C.;Anitole,K.;Hodes, C.;Lai,D.;Pfahles- Hutchens,A.; Seed,J.: Perfluoroalkyl acids: A review of monitoring and toxicologicalfindings.*Toxicol.Sci.*2007,99,366–394.[[CrossRef](#)]
34. 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. [[CrossRef](#)]
35. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. 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>

38. 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. [[CrossRef](#)]
39. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. 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. [[CrossRef](#)]
41. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Knutsen, H.K.; Alexander, J.; Barregård, L.; Bignami, M.; Brüscheiler, 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. [[CrossRef](#)]
43. 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**
44. 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**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. 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).
46. Ouhote, 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. 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. [[CrossRef](#)]
48. Blake, B.E.; Fenton, S.E. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes – A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects. *Toxicology* **2020**, *443*, 152565. [[CrossRef](#)]
49. 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. [[CrossRef](#)]
50. 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. [[CrossRef](#)]
51. 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. [[CrossRef](#)]
52. 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. [[CrossRef](#)]
53. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

55. 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. [[CrossRef](#)]
56. 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. [[CrossRef](#)]
57. 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. [[CrossRef](#)]
58. Consonni, D.; Straif, K.; Symons, J.M.; Tomenson, J.A.; Van Amelsvoort, L.G.P.M.; Sleeuwenhoek, A.; Chherrie, J.W.; Bonetti, P.; Colombo, I.; Farrar, D.G; **Cancer risk** among tetrafluoroethylene synthesis and polymerization workers. *Am. J. Epidemiol.* **2013**, *178*, 350–358. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Barry, V.; Winquist, A.; Steenland, K. Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. *Environ. Health Perspect.* **2013**, *121*, 1313–1318. [[CrossRef](#)]
60. 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. [[CrossRef](#)]
61. Chang, E.T.; Adami, H.-O.; Boffetta, P.; Cole, P.; Starr, T.B.; Mandel, J.S. A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. *Crit. Rev. Toxicol.* **2014**, *44*, 1–81. [[CrossRef](#)]
62. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. The hallmarks of cancer. *Cell* **2000**, *100*, 57–70. [[CrossRef](#)]
63. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. Hallmarks of cancer: The next generation. *Cell* **2011**, *144*, 646–674. [[CrossRef](#)]
64. 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. [[CrossRef](#)]
65. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
66. Guyton, K.Z.; Rusyn, I.; Chiu, W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.; Belland, F.A.; Smith, M.T. Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. *Carcinogenesis* **2018**, *39*, 614–622. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
67. Emerce, E.; Çetin, Ö. Genotoxicity assessment of perfluoroalkyl substances on human sperm. *Toxicol. Ind. Health* **2018**, *34*, 884–890. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
68. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. 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. [[CrossRef](#)]
70. Behr, A.C.; Lichtenstein, D.; Braeuning, A.; Lampen, A.; Bahrke, T. Perfluoroalkylated substances (PFAS) affect neither estrogen and androgen receptor activity nor steroidogenesis in human cells in vitro. *Toxicol. Lett.* **2018**, *291*, 51–60. [[CrossRef](#)]
71. 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. [[CrossRef](#)]
72. 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.
73. US EPA. Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available online: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoss_hesd_final_508.pdf (2020).

74. 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>
75. 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>
76. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par descomposés de la famille des Perfluorés (Tome 2). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-102.pdf>
77. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de toxicité sur les composés de la famille desPerfluorés (Tome 3). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-103.pdf>
78. Wieneke, B. ; 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>
79. 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>
80. 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
81. ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
82. 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
83. TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>
84. 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
85. 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
86. 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
87. 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>
88. 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>
89. 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>

90. 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>
91. US Department of Defense (Assessed 27/02/2022): Appendix I - PFAS Toxicity Profiles.
<https://defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Tindal/Reports/201806HHRAAppIToxicityProfiles.pdf>
92. 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>
93. 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=134AF5A3441CFB49FFE7BBA90CE64A74DDF7936B3178BEF86DE71342FFBADF1A81613100CDB6638F9DDE07BFEF182C65&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220227001829>
94. 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
95. 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=
96. 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.
97. UPDS (2021): Les Polluants emergent. La Magasine des Professions de dépollution des sites. No 9, Juin 2021. https://www.fnaide.org/ressources/_pdf/2/3425-UPSD_Mag_9.pdf
98. Held, T. (2020) : Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020.p. 225. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
99. 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
100. AFSSST, Karg, F. et al (2010) : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances cancérogènes (Toxicological Reference Values for cancerogenic Compounds) - Méthode de construction de VTR fondées sur des effets cancérogènes - 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.afssst.fr/upload/bibliotheque/141844903203317036420911165719/VTR_cancer_methodologie_afsst_mars10.pdf
101. 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.
102. 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.
103. 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.
104. 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 Chlordécone 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>

105. Glorenc, 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.
106. 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.
107. 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, Chlordécone, 2,4-D and Glyphosate/AMPA in Europe, Asia (China & Vietnam) and South America). Minutes of INTERSOL 2012, Paris-Ivry 27-30/03/2012.
108. Glorenc, P., Imbert, M., Ronga-Pezerset, 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 : 240-2.doi : 10.1684/ers.2012.0541
109. Karg. F. (2012): Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. AtmosFair Congress Book, Lyon / France 26-27/09/2012.
110. 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.
111. 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.
112. 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.
113. 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.
114. 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.
115. 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, Chlorophénols, Arsenic). Intersol Congress Minutes, Lille 16th of March 2016
116. 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.
117. 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 Congres.

118. 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.
119. Karg, F. (2018): Internationale Ansätze in der Gefährdungsabschätzung im Vergleich zum deutschen Bodenschutzrecht. (International Approaches of Health Risk Assessments in Comparison with German Regulations) Seminar: Wirkungspfad Boden – Mensch: Regierungspräsidium Stuttgart (Seminar: Exposures from Soil to Humans. Stuttgart / Germany 20/02/2018. Minutes of Seminar.
120. Karg, F. (2019): Needs for Technical & Regulatory Management for contaminations by PFT (PFAS): Poly- & Perflourinated 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 Congres INTERSOL Lille / France: 26th to 28th of March 2019.
121. 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.
122. 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.
123. ATSDR (2021) : Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
124. 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>
125. Karg, F. (2022): ERP sensibles (Ecoles, Crèches) & Habitations et Diagnostics, Evaluation des Risques Toxicologiques et Traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotéloïème-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
126. 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>
127. 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: Fluorotéloïème-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
128. 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.
129. 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.



International Congress

Management of Environmental & Health Risks

20/10/2022 - Paris



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)

PFAS : Gestion des pollutions et des risques sanitaires : diagnostique, chimie environnementale, évaluation des risques (ERP sensibles et autres), valeurs réglementaires et traitements (PFAS volatils FTOH dans les sols, les eaux souterraines, les gaz du sol & l'air ambiant)

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

HPC INTERNATIONAL
Perharidy Medical Centre / 29680 ROSCOFF / France &
Dr. Alfred-Herrhausen-Allee 12 / 47228 Duisburg / Germany

1. Introduction

PFAS: Per- & Polyfluoro-Alkyl Toxic Substances have become since the 1960's slowly a great Environmental and Public Health problem, as their application was (and still is) multiple and wide. Only since 2010 to 2015 the public awareness has slowly started to understand the environmental and public health threat by PFAS. As a result, today we find PFAS in soils, groundwater, food and drinking water as well as a family of volatile PFAS, FTOH: Fluorotelomer Alcohols in soil and ambient air. More than 9,000 synthetic PFAS pollutants have been produced. They do not exist naturally.

Polymeric PFAS of the type "Teflon" (or PFTE) etc. do not have good bioavailability and are therefore much less toxic than monomeric PFAS. These monomeric PFAS are the subject of the work presented here. PFAS are known to have toxicological effects such as endocrine disruption, hepatotoxicity, immunotoxicity, fetal development and for some, carcinogenicity (e.g. PFOA) [26 - 67, 88, 123].

An important characteristic of PFASs is their behavior in Environmental Chemistry, as only polyfluorinated PFASs are modified by microbiological biotransformation into perfluorinated PFASs, which remain totally stable and non-degradable, or even bio-accumulative.

The sources of PFAS pollution are multiple and notably present on industrial sites, which have used these products, sites of former fires or fire training, where Anti Fire Fighting Foams (AFFF) have been used, or on agricultural land (where sludge from STP: Sewage Treatment Plants have been brought in, as they contain accumulated PFAS).

In Germany there are about 40,000 - 50,000 PFAS contaminated sites and in France about 15,000 - 25,000 sites are estimated. Because PFAS are almost all surface-active, they are highly soluble and cause pollution of groundwater, surface water and even drinking water. In the case of (sensitive) use of such a PFAS polluted site, some volatile products (FTOH) may migrate by emanation from the polluted soil and groundwater into the soil gas and ambient air.

In the case of sensitive public buildings, such as schools and nurseries, releases from polluted soil and groundwater to soil vapor and ambient air may pose a significant public health problem for children and staff, e.g. if the building is located on or near a (historically) PFAS polluted site. In the case of the presence of heavy PFAS polluted soils a transfer to indoor and outdoor ambient air is also possible on contaminated sites.

Such a sensitive Public Site Use Scenarios, on or near a site (potentially) polluted by PFAS, should be subject to a PFAS pollution diagnosis and in particular concerning FTOH: Fluotelomer volatile alcohols in groundwater, soil vapor and ambient air. In the case of a positive PFAS-FTOH result, a Quantitative Risk Assessment (QRA) should be carried out, in order to decide on the need for management measures by treating this pollution.

2. PFAS polluted sites and historical studies

In order to identify whether a site with sensitive uses (sensitive Public Site: Schools, Kindergarten but also Homes) could be located on or near a (potentially) PFAS polluted site, a historical study is necessary. The risk of PFAS pollution may be increased by the accumulation of (former) industrial activity with PFAS on a site, the occurrence of PFAS pollution via migration into groundwater or soil vapor (containing FTOH) and by former fire events, which have been subject to fire-fighting foam applications (AFFF). Co-pollution by VOCs (Volatile Organic Compounds, such as HC5-16 hydrocarbons, BTEX, Chlorinated Solvents or Polar Solvents, etc.) may enhance the migration of FTOHs in Soil Vapor to Ambient Air.

A methodology for scoring and prioritizing sites for PFAS & FTOH pollution diagnosis needs has been developed by HPC, in order to identify sensitive Zones (Residential Areas, Schools & Crèches, Commercial Zones, etc.) and other priority (sensitive) sites with potential health risks. This scoring and prioritization methodology is based on the following criteria, among others:

(Historical) activity on (or near) site since 1946 or after 1961 [1 - 25]:

- Fire training,
- Airport or air base military site,
- Fire site and use of AFFF,,
- Electrochemical galvanisation,
- Production of "waxed" paper or cardboard,
- Production of Waterproof Textiles,
- Sprays, paints, waterproofing lacquers,
- Production and application of Teflons (PTFE, etc.),
- Oil and chemical industry sites and/or production and application of paints, dyes, inks, pigments, chemical waxes and polishes,
- Solvent applications (garages, dry cleaners, laundries, etc.)
- Landfills and former municipal landfills, etc. (ISDD, ISDND, ISDD, etc.),
- Drying & tanning factories,
- Carpets, rugs, fabrics and plastics with flame retardants,
- Production of objects and furniture containing surfaces,
- Production of cleaning products,
- Photographic chemistry (laboratories, and production of paper and film, etc.),
- Production of electronic components,
- Production and application of pesticides and biocides,
- Production of cosmetic products,
- Sites that received WWTP sludge.

3. Environmental Chemistry of PFAS

The environmental chemistry of PFAS is particularly important and complicated. There is no group of pollutants with a more complex environmental chemistry than PFAS. First of all, it should be noted that there are more than 9,000 PFAS substances, divided into 33 substance categories. The best known are Perfluoroalkane-Sulfonic-Acids (PFASs), Perfluoroalkyl-Carboxylic-Acids (PFCAs), Perfluoroalkyl Phosphates & their esters, Fluorotelomer Alcohols (FTOHs), etc. (of which there are 29 more groups...). Some of them, like e.g. PFOA: Perfluoro-octanoic acid and PFOS: Perfluoro-octane-sulphonate (see Fig. 1) are banned (and prohibited in the EC and USA & Canada) by the Stockholm

Convention in the category of POPs: Persistent Organic Pollutants. PFOA is a carcinogen. Commercial products contain mainly mixtures.

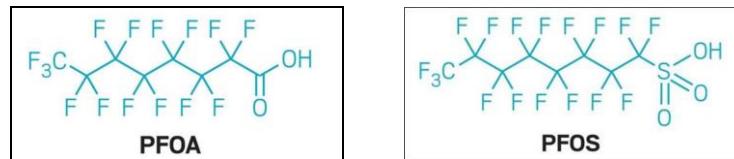


Fig. 1a & b : Structural formulae of PFOA & PFOS

The reason for the high water solubility and lipophilicity at the same time is based on the fact that there are **PFAS**:

- **Anionics** (e.g. sulphonates, sulphates, carboxylates and phosphates),
- **Cationics** (e.g. quaternary ammonium),
- **Amphoteric** (e.g. taines and sulpho-taines): base + acid and
- **Non-ionic** (e.g. polyethylene glycols, acrylamide oligomers).

Biotransformation of poly-fluorinated PFAS (Precursors) to persistent per-fluorinated PFAS :

It is very important to underline, that non-fully fluorinated poly-fluorinated PFAS ("Precursors") can be converted by bio-transformation into persistent, fully fluorinated chemicals = per-fluorinated PFAS [7, 24, 25]. The complete microbiological degradation of PFAS has not yet been demonstrated.

A diagram from UBA (2020) shows this bio-transformation of poly-fluorinated PFASs (precursors to environmentally persistent per-fluorinated PFASs (see Fig. 2.).

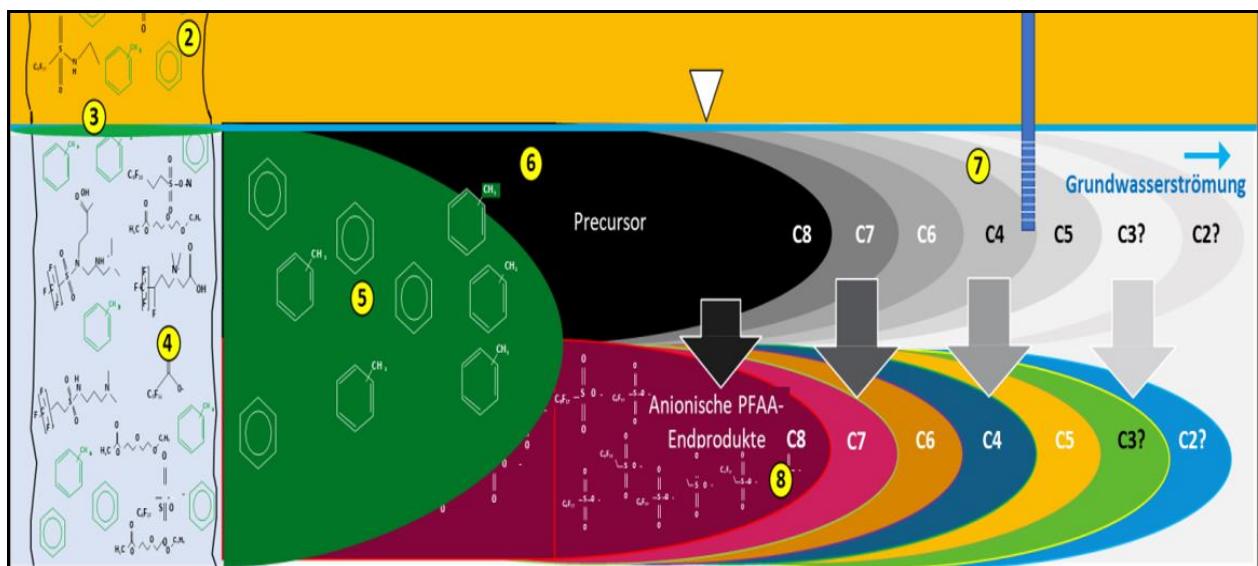


Fig. 2 : Biotransformation scheme of poly-fluorinated PFAS (Precursors) to per-fluorinated PFAS (UBA 2020) [85]

For poly-fluorinated PFAS, there is a fundamental transformation process in which the non-fluorinated terminal carbon atoms are separated. This partial degradation is relatively fast. E.g. polyfluorinated alkyl phosphates (PAP) and carboxylic acid esters etc. can be decomposed into volatile fluorotelomer alcohols (FTOH), e.g. such as 6:2-mono-PAP & 6:2-di-PAP to 6:2-FTOH.

The diagram in Fig. 3 shows an example of the biotransformation of polyfluorinated alkyl phosphates (PAPs) in soils and groundwater to volatile fluorotelomer alcohols (FTOHs), which subsequently migrate into soil gases and ambient air. Subsequently, FTOHs are microbiologically transformed into stable per-fluorinated PFAS. For example; 6:2-FTOH is biotransformed to PFHxA, and PFPeA and 8:2-FTOH to PFHxA, PFHpA, PFOA and 2H-PFOA (see Fig. 4 & 5).

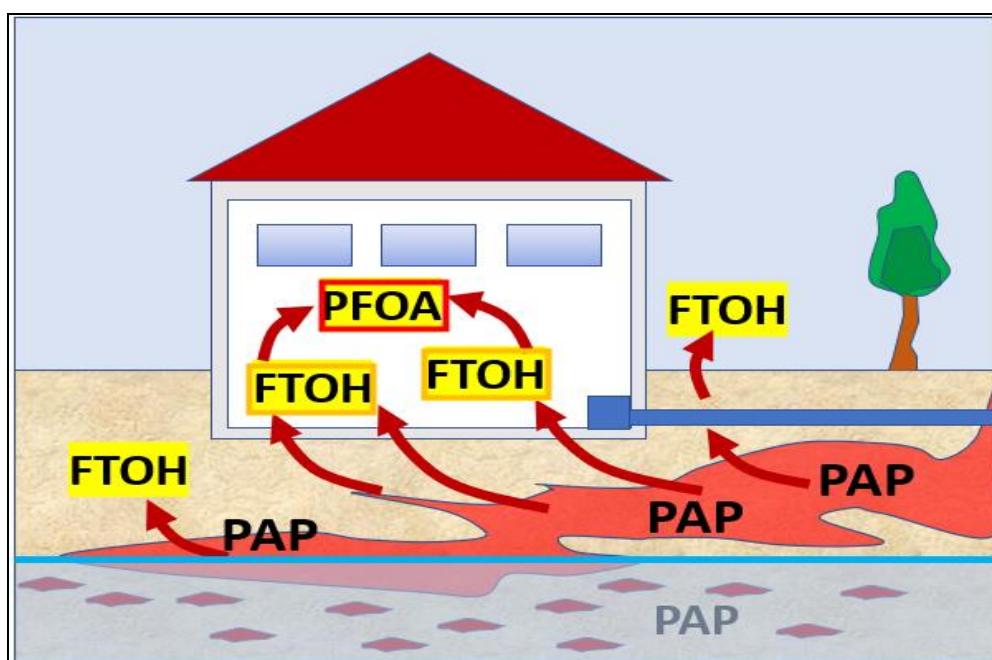


Fig. 3 : Example of biotransformation of polyfluorinated alkyl phosphates (PAPs) in soils and groundwater to volatile fluorotelomer alcohols (FTOHs) and stable per-fluorinated PFASs, e.g. the carcinogen PFOA (L. KOPF (2017), KARG (2021 & 2022) [25, 122, 125, 127, 128].

The schematic in Fig. 4 shows an example of the biotransformation of 8:2-FTOH ($\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) via intermediates to stable per-fluorinated PFAS, such as PFPA (Perfluoro-Pentanonic Acid), PFHxA (Perfluoro-Hexanonic Acid), PFHpA (Perfluoro-Heptanonic Acid), 2H-PFOA, 7: 3 and PFOA carcinogenic (Perfluoro-octanonic Acid).

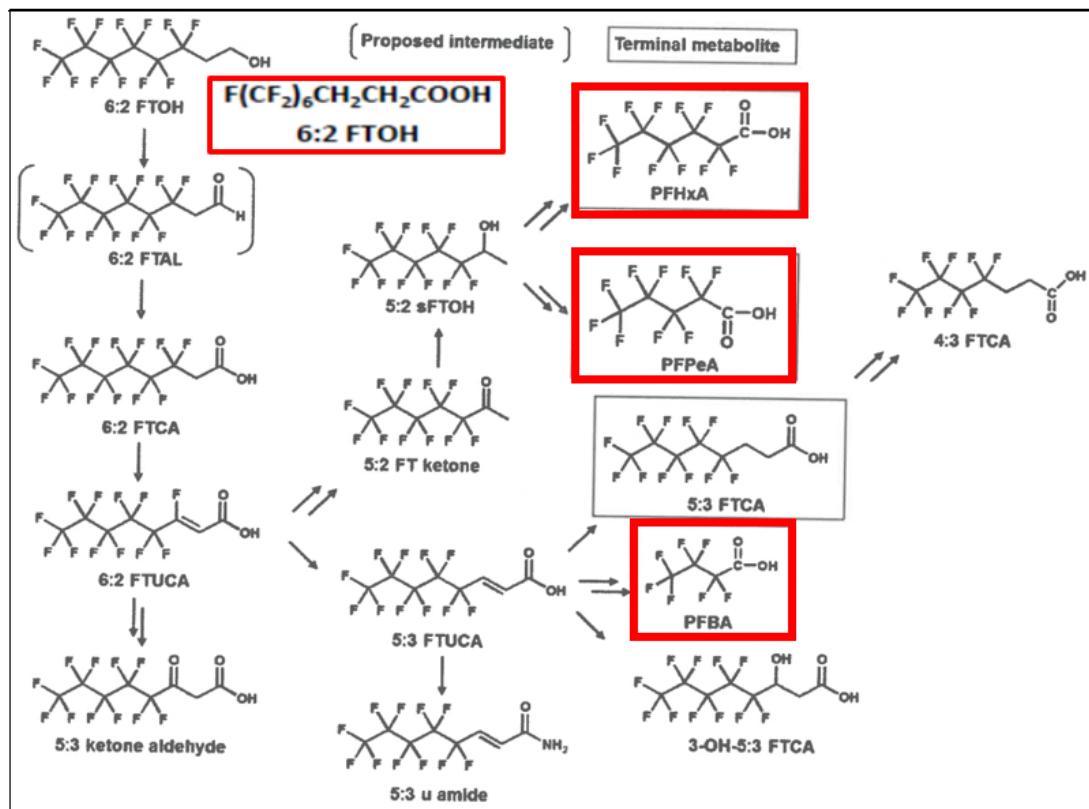


Fig. 4a: Biotransformation of Fluorotelomer alcohols; example of 6:2-FTOH ($\text{F}(\text{CF}_2)_6\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) via intermediates to stable per-fluorinated PFAS, such as PFPA (Perfluoro-pentanonic acid) and PFHxA (Perfluoro-hexanonic acid) (according to WANG et al. 2009 & L. KOPF 2017) [25].

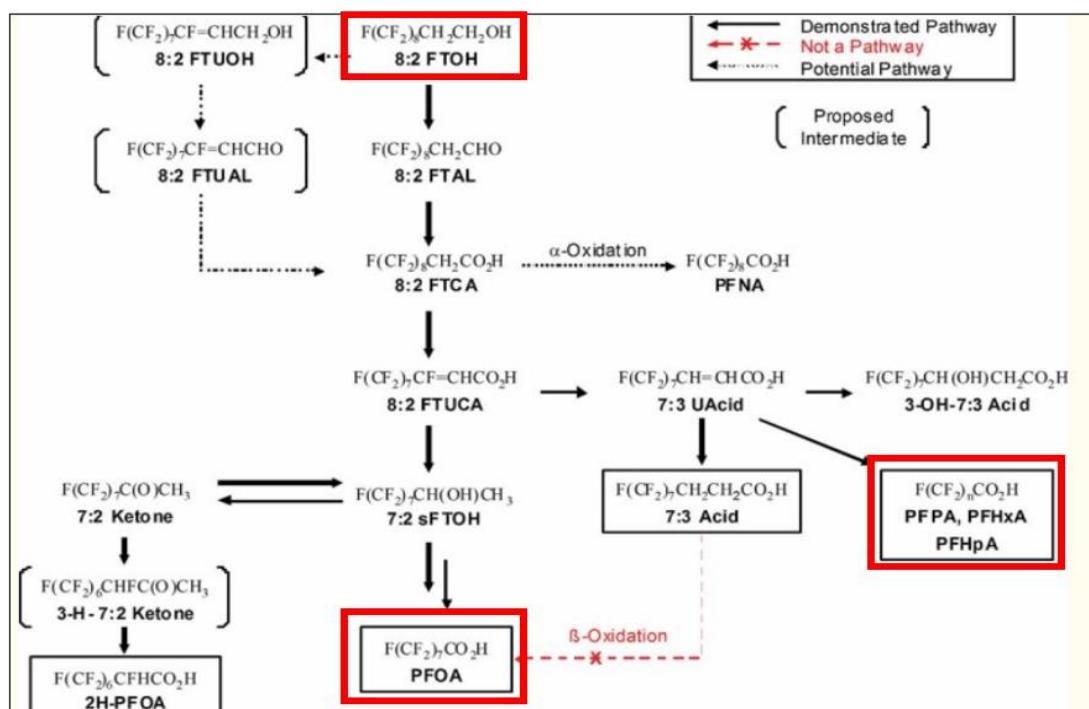


Fig. 4b : Biotransformation of Fluorotelomer alcohols; example of 8:2-FTOH ($\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) via intermediates to stable per-fluorinated PFAS, such as PFPA (Perfluoro-pentanonic acid), PFHxA (Perfluoro-hexanonic acid), PFHpA (Perfluoro-heptanonic acid), 2H-PFOA (Perfluoro-octanic acid), 7:3-FTCA and PFOA (Perfluoro-octanonic Acid) carcinogenic [98].

In case of pH-changing some PFAS could became more or less soluble, which has also an impact on emanations of volatile Fluorotelomers as FTOH, etc. into soil gas. Some precursors could change their solubility (and extractability during chemical Analysis procedures). For ex. the intrusion of seawater into the aquifer could result to basic pH increasing solubility of Capstone B. This was observed 2022 in the Hamburg / Germany Harbor Area after sea water intrusion in soils and groundwater of harbor sites, cf. next Fig. These effects could result in more than 10-times higher concentrations stated in Groundwater.

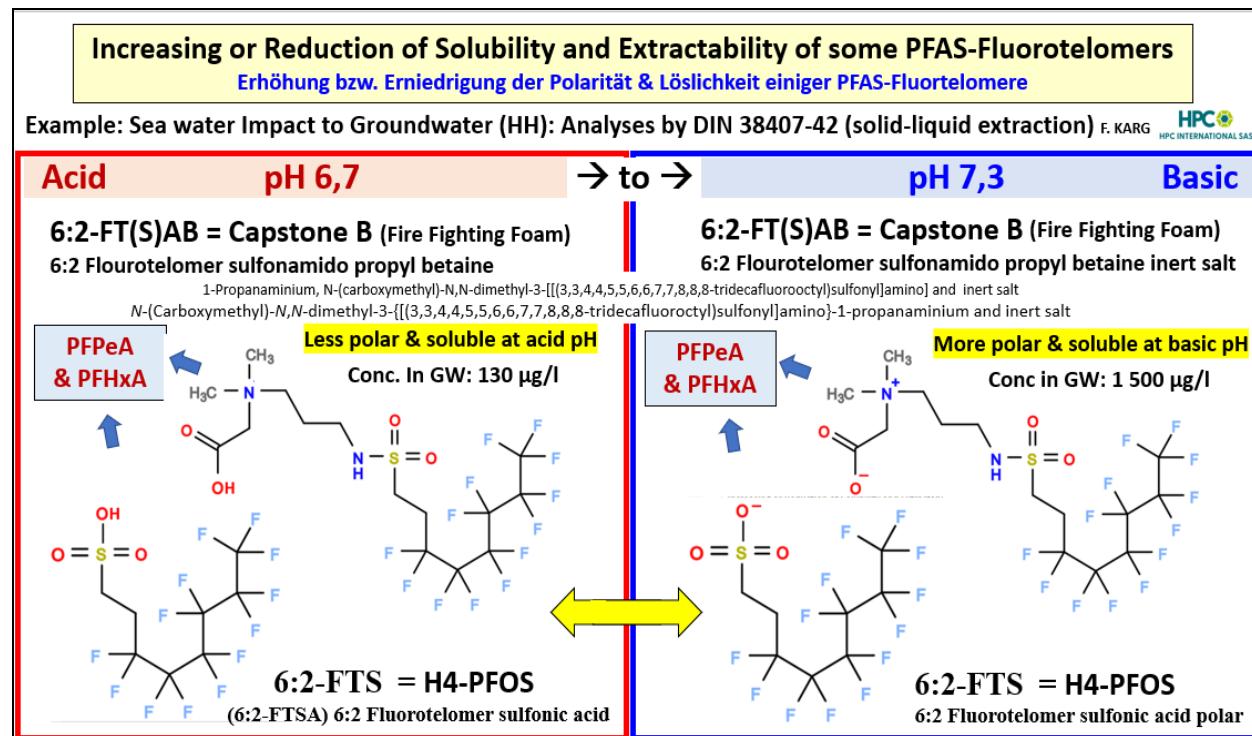


Fig. Capstone B: Differences of solubility and extractability of 6:2-FTAB & 6:2-FTS in dependance of pH by Seawater intrusion into the Aquifer, observed in the Hamburg / Germany Harbor Area in 2022 (F. KARG 2022) [127 & 128]

4. Diagnostic of PFAS (& FTOH) pollution and Assessment of Toxicological Risks

Investigations of PFAS pollution:

If "Precursors" (poly-fluorinated PFAS) are not considered by investigations, a risk assessment may conclude that no perfluorinated PFAS are (yet) present. The biotransformation of Precursors may lead to the formation of new perfluorinated carbons and sulphonic acids. These new formations from the biotransformation of poly-fluorinated PFASs have to be taken into account in a risk assessment, as per-fluorinated PFASs become more and more present over time.

An entry of these soluble pollutants into the groundwater can lead to very long pollutant plumes which, when monitoring the groundwater, show an increasing presence of stable perfluorinated PFAS compounds.

Concerning investigations of soil, sediment, groundwater, surface water, soil gas and ambient air sampling & analysis, it should be avoided that certain sampling tools and laboratory equipment may add PFAS to samples, in particular via polytetrafluoroethylene (PTFE) and Teflon (PFAS polymers) in contact with solvents. The use of these materials should therefore be avoided.

The potential biotransformation of PFASs in the environment, which will further create persistent PFASs such as PFOA in particular, must be taken into account. Analyses should be performed by Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS), e.g. according to the German Standard DIN 38407-42.

Analyses of PFAS clusters can identify the industrial or commercial origins of the environmental pollution by PFAS, see Fig. 5).

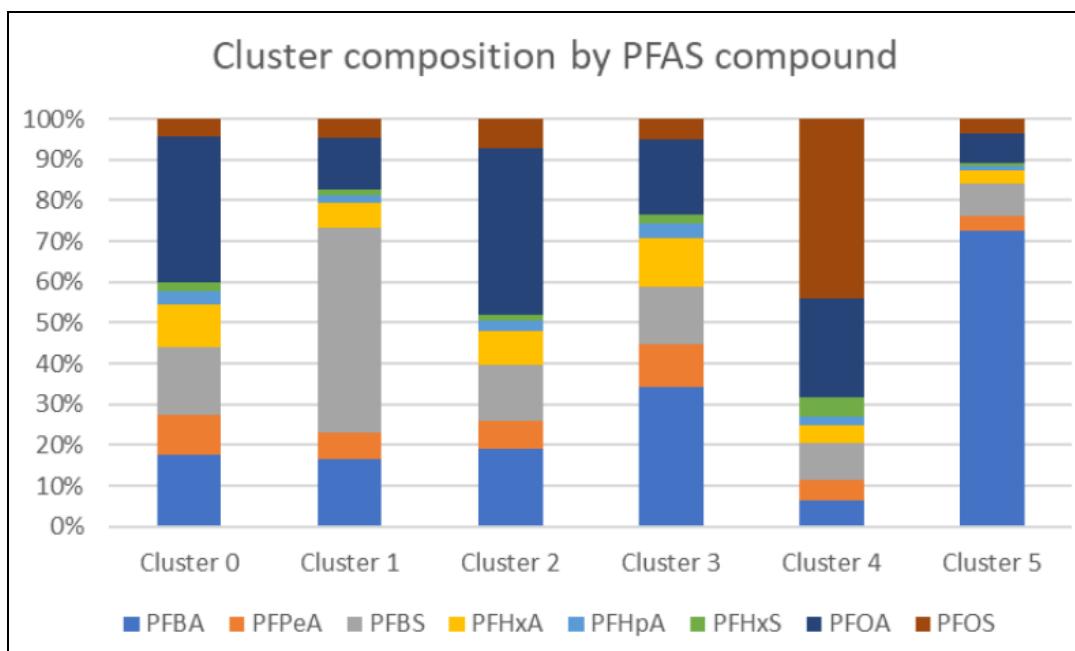


Fig. 5: Typical PFAS clusters (MONTI and al. 2021) [96]

It is important to investigate in soils, groundwater and especially in soil gases and ambient air potentially impacted by volatile PFAS, FTOH: Fluorotelomer alcohols, e.g. 6:2- and 8:2-FTOH. This methodology is particularly relevant for ERP (Schools & Crèches, etc.) and other priority (sensitive) sites with potential health risks.

It is also important to co-investigate the presence of other volatile pollutants, such as VOCs (HC5-16, BTEX, Chlorinated Solvents, polar Solvents, etc.), as the emanations from FTOHs may be enhanced by these pollutants..

It is recommended to include in the site investigations of PFAS contamination, at least the following pollutants [127 – 129]:

Nº	PFAS Type	Synonyme	Existant Toxicological Dose-effect Values
1	Perfluoro-butanonic acid	PFBA	Yes
2	Perfluoro-pantanonic acid	PFPeA	Yes
3	Perfluoro-hexanonic acid	PFHxA	Yes
4	Perfluoro-heptanonic acid	PFHpA	Yes
5	Perfluoro-octanonic acid	PFOA	Yes
6	Perfluoro-nonanonic acid	PFNA	Yes
7	Perfluoro-decanonic acid	PFDA	Yes
8	Perfluoro-butane-sulfonic acid	PFBSA	Yes
9	Perfluoro-hexane-sulfonic acid	PFHxS	Yes
10	Perfluoro-heptane-sulfonic acid	PFHpS	Yes
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	Yes
12	H4-polyfluoro-octane-sulfonic acid	H4-PFOSA	Associated to PFOS
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	Yes
14	6:2 Fluorotelomere alcohol	6:2-FTOH	Yes
15	8:2 Fluorotelomere alcohol	8:2-FTOH	Yes

If possible:

16	Perfuorobutane sulfonate	PFBS	Yes
17	Perfuoropentane sulfonate	PFPeS	Yes
18	Perfuorohexane sulfonate	PFHxS	Yes
19	Perfuoroheptane sulfonate	PFHpS	Yes
20	Perfuorodecane sulfonate	PFDS	Yes
21	Perfluoro-undecanonic acid	PFUnDA	Yes
22	Perfluoro-dodecanonic acid	PFDoDA	Yes
23	Perfluoro-tridecanonic acid	PFTrDA	Yes
24	Perfluoro-tetradecanonic acid	PFTeDA	Yes
25	Perfluoro-hexadecanonic acid	PFHxDA	Yes
26	Perfluoro-octadecanonic	PFODA	Yes
27	Hexafluoro-propyleneoxydimer acid	HFPO-DA	Yes
28	3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy) propanonic acid	ADONA	Yes
29	Capstone A & B	6:2 FTAB	No
30	6:2 Fluortelomer sulfonic acid	6:2 FTS	No

Toxicological Risk Assessment:

For the assessment of health risks (for ex. via TERQ*), toxicological data (TRVs: Toxicological dose-effect Reference Values) must be sought and updated at the international level on an almost weekly basis. The most recent TRVs are available mainly from the USA (EPA...), ATSDR and EFSA [25, 78 - 95, 123]. The ANSES also published TRVs for PFAS in 2017 but given the forced progress of toxicological studies these TRVs are largely exceeded. (* Toxicological Exposure Risk Quantification)

In the **case of FTOHs** present in soils, groundwater and soil gas, it is imperative to also carry out **investigations of FTOHs** in the ambient air of buildings with sensitive uses (**Public Site Use**: schools, Kindergartens, etc.) or Residential Areas, on the basis of quantification thresholds (or at least detection thresholds) no higher than 4 - 8 ng/m³, in order to have a good basis that can be exploited for **TERQ**: Toxicological Exposure-Risk Quantification Health Risk Assessment.

A first approach to a simplified risk assessment is possible via existing limit values, e.g. in Germany or published by the European Community. In Germany there are limit values for Drinking Water, Soil and Groundwater (see Fig. 6).

According to the European "Water Framework" Directive (EU) 2013/39/EU (WFD), for PFOS & derivatives (and for other priority substances) an Environmental Quality Standard (EQS-MA) of 0.65 ng/l for Surface Waters and 0.13 ng/l for Marine Waters (and EQS-MA: Maximum Allowable Concentrations) are set.

N°	PFAS	Syn.	TW [µg/l]	GW: GFS [µg/l]
1	Perfluor-butane-acid	PFBA	10	-
2	Perfluor-pentane-acid	PFPeA	-	3
3	Perfluor-hexane-acid	PFHxA	6	-
4	Perfluor-heptane-acid	PFHpA	-	0,3
5	Perfluor-octane-acid	PFOA	0,1	-
6	Perfluor-nonane-acid	PFNA	0,06	-
7	Perfluor-decane-acid	PFDA	-	0,1
8	Perfluor-butansulfonic-acid	PFBuS	6	-
9	Perfluor-hexan-sulfone-acid	PFHxS	0,1	-
10	Perfluor-heptan-sulfonic-acid	PFHpS	-	0,3
11	Perfluor-octane-sulfone-acid	PFOS	0,1	-
12	H4-polyfluor-octane-sulfonic-acid	H2-PFOS	-	0,1
13	Perfluor-octane-sulfonamide	PFOSA	-	0,1

Fig. 6: Limit values for drinking water (TW) and groundwater (GFS) in Germany (UBA 2016)

It should be noted that in Germany there are also limit values for soils, which are expressed as leachable fractions of PFAS [18], for ex. as Screening Level (Stufe 1) or Remediation Goal (Stufe-2):

Nr.	PFAS-Substanz	Pfad Boden-Grundwasser Bayrisches LFU		BW Eluat	Rheinland-Pfalz ⁶⁾ LFU 2017	Zuordnungswerte für die Beurteilung des hergestellten Boden-Eluats		
		Vorläufiger Stufe-1-Wert ³⁾ [µg/l]	Vorläufiger Stufe-2-Wert ³⁾ [µg/l]			Vorläufige GFS-Werte ⁵⁾ [µg/l]	Prüfwert Eluat ⁶⁾ Σ (Cn/SWn) [µg/l]	Z 0 ⁴⁾ [µg/l]
1.	PFBA	10 ^{c)}	40 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	3 ^{e)}	10 ^{f)}
2.	PFPeA	3,0	12,0	3,0			3,0	3,0
3.	PFHxA	6,0 ^{c)}	24 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	2 ^{e)}	6 ^{f)}
4.	PFHpA	0,3	1,0	0,3			0,3	0,3
5.	PFOA	0,1 ^{c)}	0,4 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	0,05 ^{e)}	0,1 ^{f)}
6.	PFNA	0,06 ^{c)}	0,25 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	0,03 ^{e)}	0,06 ^{f)}
7.	PFDA	0,1	0,4	0,1			0,1	0,1
8.	PFBS	6,0 ^{c)}	24 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	2 ^{e)}	6 ^{f)}
9.	PFHxS	0,1 ^{c)}	0,4 ^{d)}			≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)	0,05 ^{e)}	0,1 ^{f)}
10.	PFHpS	0,3	1,0	0,3			0,3	0,3
11.	PFOS	0,1 ^{c)}	0,4 ^{d)}	0,23	≤ 1 (Σ 1,3,5,6,8,9,11)		0,05 ^{e)}	0,1 ^{f)}
12.	H ₄ PFOS	0,1	0,4				0,1	0,1
13.	PFOSA	0,1	0,4				0,1	0,4

It is important to note that a simple application of generic and individual Limit Values in the framework of a simplified risk assessment does not take into account specific exposure scenarios, nor does it take into account exposures to mixtures ("cocktails") of pollutants with, at the very least, consideration of the additivity of the risks of the pollutants in the mixture with regard to the same targets and toxicological effects. Consequently, it is necessary to better apply the TERQ (or ARR, HRA), which corresponds well to the French Methodology of Management of Polluted Sites, according to the Ministry in charge of the Environment, of 19/04/2017.

Another important aspect is the fact that only via TERQ* (or ARR, HRA) it is possible to define Health Compliance Control Values, in the form of MACs (Maximum Acceptable Concentration) for maximally acceptable Individual (cancer) Risk Excesses: ERI < 10E-5 or a Systemic Risk Index of IR < 1 (= EDI / TDI: Daily Exposure Dose / Tolerable Daily Exposure Dose).

(*): Toxicological Exposure Risk Quantification

For HRA: Health Risk Assessments, the basis is either the measurement of concentrations in the exposure media or the modelling of the pollutant transfer from one compartment to another (e.g. from pollutants in Groundwater or Soil to soil Vapor and Ambient Air [100 – 122, 125, 127, 128].

An important step in HRA is the choice of TRVs (Toxicological Dose-Effect Reference Values), as their evolution is fast. For example, a PFAS guideline from ANSES (2017) includes some TRVs for PFAS, but due to the numerous publications of TRVs until today, these values are partly outdated, as today they have become much more stringent. A Tolerable Weekly Intake (TWI) of 4.4 ng/kg/week (or Tolerable Daily Intake (TDI) of 0.63 ng/kg/day for PFAS: PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS) has been published by EFSA, on 17/09/2020.

The next Table shows the French ANSES (2017) TRV (Toxicological Dose-Effect Reference Values):

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

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

In 2020 toxicity equivalency factors for PFOA were also published by Wienecke *et al.* in the form of RPFs: Relative Potency Factors (see Fig. 7).

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

* 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. 7: Toxicity equivalence factors in the form of RPFs: Relative Potency Factors (Wienecke *et al.* 2020).

In order to ensure the proper selection of TRVs for PFAS, it is recommended to apply scientific selection criteria and not national criteria. Fig. 8 shows criteria for the selection of applicable TRVs, in order to take into account the best toxicological knowledge about the dose-effect relationships of PFAS (F. Karg: 2021 & 2022) [122, 125, 127, 128].

No	TRD: Toxicological Reference Dose Choice Criteria	Appreciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion
1	Variability of indicated TRD	(+/- 0 %)	≤ (+/- 30 %)	> (+/- 30 %)	
2	Class (potential) Carcinogenic: EC: Class 3/ US-EPA: Class B2, C / IARC: Group 1	3 Organisms : CE, US-EPA, IARC, etc.	2 Organisms	1 Organisms	
3	Several Organisms shows similar TRD (+/- 50 %)	≥ 3 Organisms	2 Organisms	1 Organism	
4	Age of base Study	≤ 15 a	15 – 25 a	< 25 a	
5	Mechanistic toxicological basement Study (for ex. Genotoxicity):	Epidemiology	Mamifer	In-Vitro / In-silico	
6	Basement Study : Klimisch Quality Criteria	Class 1	Class 2	Class 3	Class 3
7	Verified Purity of Compound	Yes	< 95 %	No	
8	Excipient potentially toxic	Non		Yes	
9	Presence of population without exposure (test witness)	Yes		No	
10	General Quality Criteria (Klimisch) of toxicological effect studies	Standardized Study (OCDE, UE, US EPA, FDA, etc.)	Standardized Study without Details, but correctly documented	Document insufficient for evaluation, systematic deficiencies	
11	POD : Point of Departure	Quantified Epidemiological Data, BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL sensitive NOAEL	LOAEL sensitive, LOAEL, Other	
12	Uncertainty (or Assessment) Factors	1 – 100	> 100 – 1000	> 1 000 – 10 000	> 10 000
13a	Transpositions: Between Exposure Pathways	Non		Yes	
13b	Transposition: Animal to Human	Non	Yes		
13c	Transpositions : From in-Vitro	Non		Yes	
13d	Transpositions : From in-Silico	Non		Yes	
14	Study time-representatively	≥ chronic (> 180 d)	sub-chronic (90 d) to chronic (180 d)	< sub-chronic (< 90 d)	
15	Integration of bio-disponibility / Bio-resorption capacity (ex.: DIN 19 738)	Yes	Not known (100 %)	Known, but not considered	

Fig. 8: Criteria for the selection of TRVs: Toxicological dose-effect Reference Values (F. KARG 2021 & 2022)

Based on selection criteria, it is possible to select e.g. the TRVs shown in Fig. 9 by early September 2022. It is important to consider that some US state governments are very advanced in toxicological research and publication of TRVs for PFASs, due to their strong chemical and petroleum industries (with strong historical uses of AFFFs) or the strong presence of large industrial landfills (and associated environmental pollution). These include the states of Texas, Michigan and New Jersey, etc.. These TRVs are often the basis for the US-EPA Federal PFAS TRV publications.

Substance	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sige	Security Factor	Organization
		Exposure path	Target organ	Value				
PFBA	NC	oral	Hepatic	2,9 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / 2400	TCEQ 2016
		inhalation	Hepatic	10 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFPeA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHxA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHpA	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rate	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017
PFOA	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rate	TDI	BMDL5	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
			Hepatic, Mammar, Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RfD	LOAEL (81*100)	TECQ 2016
		inhalation	Hepatic	4,1 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81*3000)	TCEQ 2016
	C	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d)⁻¹	Epidemio	SF	-	New Jersey 2017
PFNA	NC	oral	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampshire DES 2019
		inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m³	Rate	RfC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2018
PFDA	NC	oral	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
		inhalation		53 ng/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,9 µg/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and thyroidal	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
		inhalation		13 ng/m³	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	NC	oral	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
		inhalation	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m³	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2016
PFOSA	NC	oral	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	Same than PFOA NOAEL/(81*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,1 ng/m³	Rate	RfC	same than PFOA NOAEL/(81*3000)	TCEQ 2016

Fig. 9: Selection of some TRVs: Toxicological dose-effect Reference Values, according to the criteria in Fig. 8 (F. KARG 2021 & 2022) [100 – 122, 125, 127, 128]:

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

A complementary step of the Health Risk Assessment (or TERQ) is the definition of Health Compliance Control Values, in the form of MACs (Maximum Acceptable Concentration) for specific site use scenarios and pollutant cocktails, by integrating an risk additivity for the pollutants concerning the same targets and toxicological effects for tolerable Individual Cancer Risk: ICR < 10E-5 or a Systemic Risk Index of IR < 1 (= DED / TDI: Daily Exposure Dose / Tolerable Daily Intake). MACs are commonly used for Health Monitoring Values and to verify or co-elaborate remedial action targets or even clean-up targets.

5. Treatment of pollution by PFAS and in particular by FTOH

Microbiological remediation is not currently possible. Soil remediation includes excavation and off-site disposal or incineration, soil washing, stabilization and containment (including controlled landfilling of NSSI & ISDD). Semi-Economically it's possible to realize Soil Washing & Leachate Treatment. Leachate treatment is possible by Granulated Activated Carbon (GAC) or NaOH defluorination at 80 – 100 °C (Brittany TRANG et al. 2022) [126].

In the case of PFAS pollution, treatment is often quite costly, especially in the case of site developments, as the disposal of excavated soil is not easy from an economic feasibility point of view.

For the treatment of Groundwater, in-situ solutions exist to avoid expensive decontamination by P&T (Pump and Treat). These in-situ treatments are for example the application of colloidal Activated Carbons or other specifically adapted commercial adsorbents (IX: ion exchange, reverse osmosis, specific absorbent resins, modified Clays, Biopolymers) and Foam Fractioning. In-situ applications for groundwater are possible but need a techno-economic Feasibility Study (see for ex. Fig. 10 & 11).

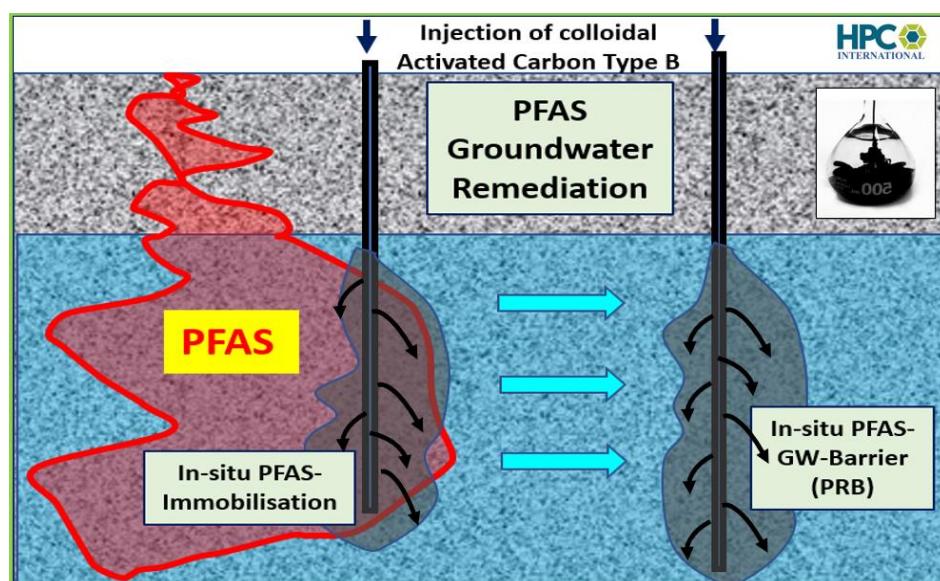


Fig. 10: Application of in-situ treatments with Type B colloidal activated carbon (F. KARG 2021 & 2022) [122, 125, 127, 128].

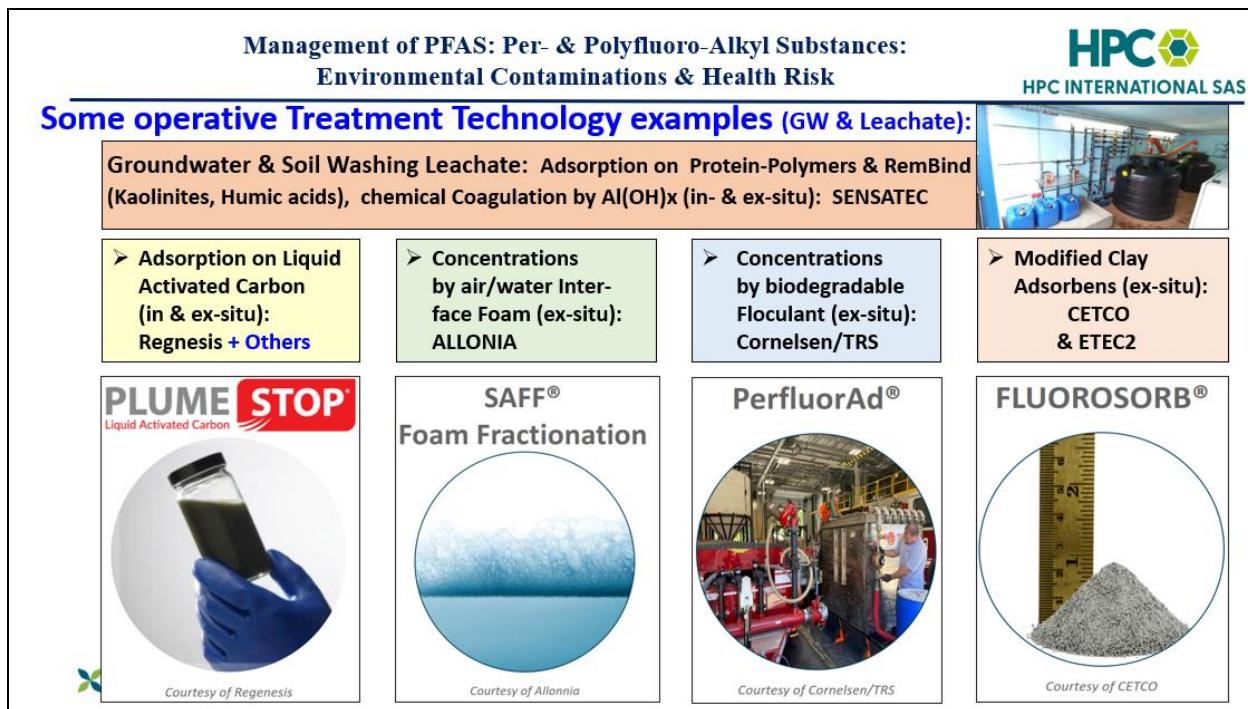


Fig. 11: Different PFAS treatment technologies in 2022 [128, 129]

In surface waters, PFAS can also be trapped by adsorption via microalgae [25, 97]. The treatment of pollution by volatile PFAS in the form of FTOH, especially in sensitive ERP (Establishments Receiving Public), such as schools and nurseries, and even in residential areas, can be carried out by Soil Vapor Extraction (SVE) but needs adapted treatment of the off-gas and/or by constructive building management.

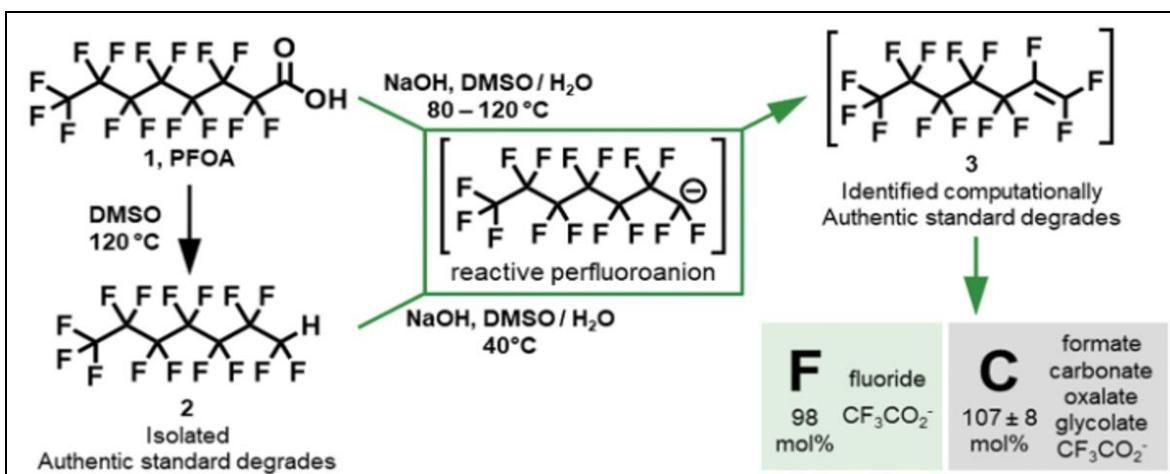


Fig 12: Low Temperature Mineralization: Soil Washing & Leachate Treatment by NaOH defluorination and Low Temperature Mineralization at 80 – 100 °C of Carboxylic containing PFAS (Brittany TRANG et al. 2022) [126].

Constructive building management devices in the case of FTOH (volatile PFAS) pollution may be much less costly, e.g. :

- **Air proofing inside buildings (e.g. ERP; schools and nurseries, etc.) + ventilation of crawl spaces (and/or possible gas drainages) and monitoring of the ambient air. Figs. 11a-d & 12a-b show possible constructive management arrangements.**
- In some cases, soil gas remediation is required due to the significant presence of volatile PFAS or their precursors (FTOH or PAP), e.g. by SVE integrated into buildings (see Fig. 12a & b).

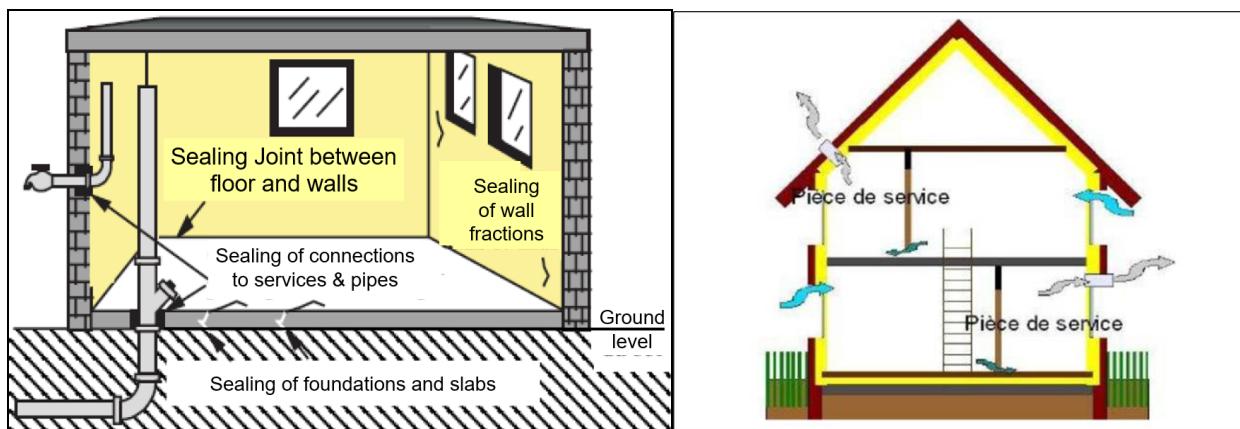


Fig. 11a & b: Example of crusted “VOC (as FTOH, etc.) pollutant management” in Buildings (ROBE & BRGM 2014) [121, 124]

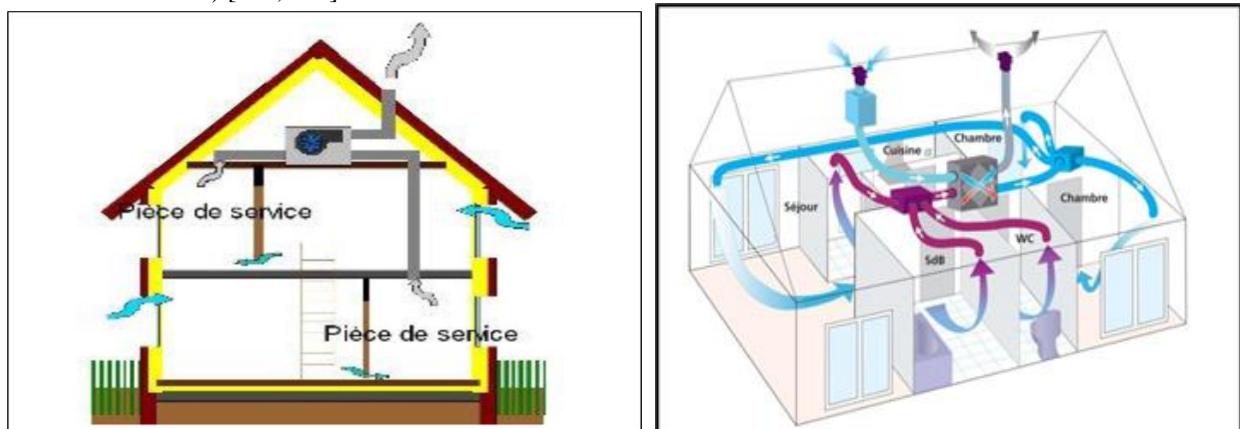


Fig. 11c & d: Single flow ventilation and double flow ventilation [124]

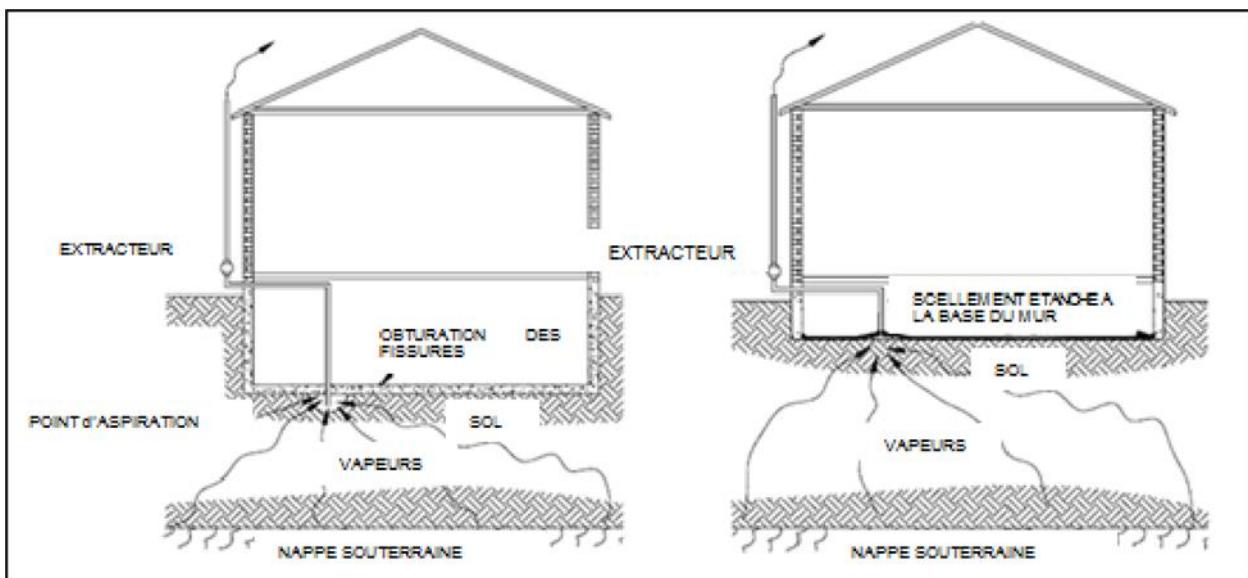


Fig. ; 12a & b: Remediation and/or prevention by SVE in the form of Subterranean depressurization (SDS) and Sub-slab depressurization (SDSD) [124, 127]

The Fig. 16a-h shows construction measurements for building sealings against vapor or gas intrusion by FTOH & VOC. The Fig. Les Fig. 17a-d m shows construction measurements by gas drainages to avoid vapor or gas intrusions into the buildings (drainages pipes and drainages carpets).

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

HPC
HPC INTERNATIONAL SAS

If exceeding of TERQ-SS-RG: Site Specific Remediation Goals

→ I. Constructed Prevention and Remediation Interventions

Sealing of Fractures	Sealing with special Concrete	Sealing with HDPE, etc.	Sealing with tightening Paints
Polymer- Sealings	Lateral Sealings with Polyanes	Sealing with Spray Membranes	Lateral Sealings of Foundations

INOGEN[®] ALLIANCE

Fig. 16a-h: Constructive Measurements of Building Sealings to avoid FTOH & COV vapor intrusions into building's ambient air.



Fig. 17a-d: Constructive Measurements by Gas Drainages to avoid FTOH & COV vapor intrusions into building's ambient air by drainages pipes and drainages carpets, Gendrin et al. 2011.

6. Conclusion

There are more than 9,000 per- and poly-fluoroalkyl PFAS compounds, which are highly soluble but also bio-accumulative and in most cases non-volatile, excepted the volatile FTOHs (Fluorotelomere Alcohols). Poly-fluorinated PFAS are bio-transformed into stable and often more toxic per-fluorinated PFAS (PFOA, PFPA, PFHxA, PFHpA, etc.).

There are thousands of sites polluted by PFAS in industrial countries. These include fire-fighting sites (e.g. at airports), multiple (former) industrial sites, military sites, agricultural land that has received WWTP sludge (from Waste Water Treatment Plants), etc. Specialized site investigations and Toxicological Exposure Risk Quantification Health Risk Assessments (TERQ, HRA, EQRS, etc.) are necessary in cases of PFAS contamination, especially in soils, groundwater, soil gas and ambient air. Remediation is difficult but possible if based on technical-economic Feasibility Studies. **A minimum list of PFAS to be investigated during pollution diagnostics and for Health Risk Assessments is recommended.**

Further PFAS Management Strategies in general and in European Community:

Toxicity equivalence factors in the form of RPFs: Relative Potency Factors would become more and more important as also TRVs for PFAS groups to manage larger Pollutant numbers, when individual toxicological data are missing.

The European Commission will ban all PFAS as a group in fire-fighting foams as well as in other uses, allowing their use only where they are essential for society. The EU-Commission will also address PFAS concerns on a global scale through the relevant international fora and in bilateral policy dialogues with third countries.

The European Chemicals Agency (ECHA) is developing a restriction dossier for all PFAS in firefighting foam. The dossier is ready since October 2021. The Netherlands, Denmark, Germany, Norway and Sweden have published their intention to prepare a restriction dossier on all PFAS under the REACH Regulation. The dossier is ready since July 2022.

The Commission will also address PFAS with a group approach, under relevant legislation on water, sustainable products, food, industrial emissions, and waste. This includes:

- establishing technical guidelines on analytical methods for the measurement of "PFAS total" and groups of PFAS under the Drinking Water Directive,
- setting limit values for PFAS under the Groundwater Directive, the Environmental Quality Standards Directive and the Food Contaminants Regulation,
- addressing emissions and reporting of PFAS under the Industrial Emissions Directive and the European Pollutant Release and Transfer Register.

The EU-Commission will provide financial support under research and innovation programs to identify and develop innovative methodologies for remediating PFAS contamination in the environment and funding for safe innovations to substitute PFAS in products. The Commission has launched a call for proposals under the Green Deal call focused on remediation of contamination with persistent and mobile chemicals (including PFAS).

According to the EC Directive 2020/2184/EC from du 21/12/2020 concerning Drinking water in 2026, 10 new PFAS must be monitored and for 20 PFAS a limit of maximum 0.1 µg/l and for all PFAS 0.5 µg/l must be respected.

7. References

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. 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 Leeuwen, S.P.J. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integr. Environ. Assess. Manag.* **2011**, *7*, 513–541.
3. 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. [CrossRef] [PubMed]
4. 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>
5. 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-esfa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>
6. US EPA. EPA and 3M Announce Phase out of PFOS. Available online: https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html
7. 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. [CrossRef] [PubMed]
8. 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. [CrossRef] [PubMed]
9. 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. [CrossRef] [PubMed]
10. European Parliament. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006. Off. J. Eur. Union **372**, 32–34.
11. 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>.
12. Maga, D.; Aryan, V.; Bruzzano, S. Environmental assessment of various end-of-life pathways for treating per- and polyfluoroalkyl substances in spent fireextinguishing waters. *Environ. Toxicol. Chem.* **2020**. [CrossRef]
13. 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. [CrossRef]
14. 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. [CrossRef]
15. 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_pfas_incineration_iowa_approved_final_july_2019.pdf
16. Avendaño, S.; Liu, J. Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. *Chemosphere* **2015**, *119*, 1084–1090. [CrossRef]
17. Eggen, T.; Moeder, M.; Arukwe, A. Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 5147–5157. [CrossRef]

18. Lang, J.R.; Allred, B.M.; Field, J.A.; Levis, J.W.; Barlaz, M.A. National estimate of per- and poly-fluoroalkyl substance (PFAS) release to U.S. municipal landfill leachate. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 2197–2205. [[CrossRef](#)]
19. LfU (Bavarian Environment Agency). Per- und Polyfluorierte Chemikalien in Bayern: Untersuchungen 2006–2018. Available [https://www.bestellen.bayern.de/application/appstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL\(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:aartdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/appstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:aartdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X)
20. 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. [[CrossRef](#)]
21. Sinclair, E.; Mayack, D.T.; Roblee, K.; Yamashita, N.; Kannan, K. Occurrence of perfluoroalkyl surfactants in water, fish, and birds from New York State. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2006**, *50*, 398–410. [[CrossRef](#)]
22. Ghisi, R.; Vamerali, T.; Manzetti, S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 326–341. [[CrossRef](#)]
23. 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. [[CrossRef](#)]
24. 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/>
25. Kopf, L ; (2017) : Biotransformationsprozesse von Fluortelomeralkoholen/ PFC-Chemismus und FTOH-Analytik in der Bodenluft. Duale Hochschule Baden-Württemberg, Karlsruhe TSHE14.
26. 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. [[CrossRef](#)]
27. 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.[[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Leary, D.B.; Takazawa, M.; Kannan, K.; Khalil, N. Perfluoroalkyl substances and metabolic syndrome in firefighters. *J. Occup. Environ. Med.* **2020**, *62*, 52–57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. 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. [[CrossRef](#)]
30. 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. [[CrossRef](#)]
31. 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. [[CrossRef](#)]
32. 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. [[CrossRef](#)]
33. 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. [[CrossRef](#)]
34. 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. [[CrossRef](#)]
35. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

36. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. 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>
38. 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. [[CrossRef](#)]
39. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. 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. [[CrossRef](#)]
41. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Knutson, H.K.; Alexander, J.; Barregård, L.; Bignami, M.; Brüschiweiler, 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. [[CrossRef](#)]
43. 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**
44. Fenton, S.E.; Ducatman, A.; Boobis, A.; DeWitt, J.C.; Lau, C.; Ng, C.; Smith, J.S.; Roberts, S.M. Per- and poly-fluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current State of knowledge and strategies for informing future research. *Environ. Toxicol. Chem.* **2020**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. 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).
46. Ouhote, 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. 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. [[CrossRef](#)]
48. Blake, B.E.; Fenton, S.E. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects. *Toxicology* **2020**, *443*, 152565. [[CrossRef](#)]
49. 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. [[CrossRef](#)]
50. 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. [[CrossRef](#)]
51. 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. [[CrossRef](#)]
52. 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. [[CrossRef](#)]

53. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. 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. [[CrossRef](#)]
56. 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. [[CrossRef](#)]
57. 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. [[CrossRef](#)]
58. Consonni, D.; Straif, K.; Symons, J.M.; Tomenson, J.A.; Van Amelsvoort, L.G.P.M.; Sleeuwenhoek, 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Barry, V.; Winquist, A.; Steenland, K. Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. *Environ. Health Perspect.* **2013**, 121, 1313–1318. [[CrossRef](#)]
60. 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. [[CrossRef](#)]
61. Chang, E.T.; Adami, H.-O.; Boffetta, P.; Cole, P.; Starr, T.B.; Mandel, J.S. A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. *Crit. Rev. Toxicol.* **2014**, 44, 1–81. [[CrossRef](#)]
62. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. The hallmarks of cancer. *Cell* **2000**, 100, 57–70. [[CrossRef](#)]
63. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. Hallmarks of cancer: The next generation. *Cell* **2011**, 144, 646–674. [[CrossRef](#)]
64. 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. [[CrossRef](#)]
65. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
66. Guyton, K.Z.; Rusyn, I.; Chiu, W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.; Beale, F.A.; Smith, M.T. Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. *Carcinogenesis* **2018**, 39, 614–622. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
67. Emerce, E.; Çetin, Ö. Genotoxicity assessment of perfluoroalkyl substances on human sperm. *Toxicol. Ind. Health* **2018**, 34, 884–890. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
68. 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. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. 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. [[CrossRef](#)]
70. 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. [[CrossRef](#)]

71. 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. [[CrossRef](#)]
72. 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.
73. US EPA. Health Effects Support Document for Perfluoroctane Sulfonate (PFOS). Available online: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoss_hesd_final_508.pdf (2020).
74. 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>
75. 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>
76. 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>
77. 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>
78. Wieneke, B. ; 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>
79. 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>
80. 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
81. ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
82. 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
83. TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>
84. 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
85. 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
86. 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

87. 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>
88. 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>
89. 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>
90. 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>
91. US Department of Defense (Assessed 27/02/2022): Appendix I - PFAS Toxicity Profiles. <https://defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Tindal/Reports/201806HHRAAppIToxicityProfiles.pdf>
92. 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>
93. 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=134AF5A3441CFB49FFE7BBA90CE64A74DDF7936B3178BEF86DE71342FFBADF1A81613100CDB6638F9DDE07BFEF182C65&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220227001829>
94. 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
95. 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=
96. 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.
97. UPDS (2021): Les Polluants emergent. La Magasine des Professions de dépollution des sites. No 9, Juin 2021. https://www.fnaide.org/ressources/_pdf/2/3425-UPSD_Mag_9.pdf
98. Held, T. (2020) : Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020.p. 225. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html
99. Georgi, J., Bsche, 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
- 100.AFSSET, Karg, F. et al (2010) : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances cancérogènes (Toxicological Reference Values for cancerogenic Compounds) - Méthode de construction de VTR fondées sur des effets cancérogènes - 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

- 101.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.
- 102.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.
- 103.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.
- 104.Karg, F. & Vircondelet, S. (2011): Méthodologies EQRS & ARR 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 Chlordécone 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>
- 105.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.
- 106.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.
- 107.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, Chlordécone, 2,4-D and Glyphosate/AMPA in Europe, Asia (China & Vietnam) and South America). Minutes of INTERSOL 2012, Paris-Ivry 27-30/03/2012.
- 108.Glorennec, P., Imbert, M., Ronga-Pezzeret, S., Karg, F., Bonvallot, N., Boulanger, G., Maurau, S., Guilloisou, 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 : 240-2.doi : 10.1684/ers.2012.0541
- 109.Karg. F. (2012): Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. AtmosFair Congress Book, Lyon / France 26-27/09/2012.
- 110.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.
- 111.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.
- 112.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.
- 113.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.
- 114.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.

- 115.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, Chlorophénols, Arsenic). Intersol Congress Minutes, Lille 16th of March 2016
- 116.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.
- 117.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 Congres.
- 118.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.
- 119.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.
- 120.Karg, F. (2019): Needs for Technical & Regulatory Management for contaminations by PFT (PFAS): Poly- & Perflourinated 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.
- 121.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.
- 122.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.
- 123.ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf>
- 124.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>
- 125.Karg, F. (2022): ERP sensibles (Ecoles, Crèches) & Habitations et Diagnostics, Evaluation des Risques Toxicologiques et Traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotélorème-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
126. 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>

- 127.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
- 128.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.
129. 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.

**Ministry of Environment, Climate, Energy and Agriculture (BUKEA), Hamburg
Department for soil protection and contaminated sites**

PFAS – Presence in Groundwater and Soils

Dipl.-Geol./Dipl.-Ing. (FH) Astrid Klose

International Congress on PFAS

20th of October 2022 in Paris

Summary

**PFAS – Presence in Groundwater and Soils.
Management experiences in Hamburg, Germany**

Function and Tasks of BUKEA

The Free and Hanseatic City of Hamburg (FHH) has the special status of a city state, which means the city operates with the same authority and infrastructure as a German federal state. What this means for the Ministry of Environment, Climate, Energy and Agriculture (BUKEA) in Hamburg, is that ministerial work and environmental enforcement duties are performed by one department. In the field of contaminated site management, this concentrated responsibility is viewed as an advantage. All decisions relevant to the contaminated site sector are therefore determined by one specialised department.

In Germany, the Federal Soil Protection Act (BBodSchG), and the Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (BBodSchV), are vital for the management of contaminated sites. The Department for Soil Protection and Contaminated Sites in BUKEA, with about 70 employees, is the highest soil protection authority in Hamburg, and is responsible for preventive soil protection and post-cautionary soil and groundwater protection, as well as the remediation of contaminated sites owned by the City of Hamburg.

Since 1979, when contaminated sites were first recorded in Hamburg, a total of 712 remediations – private and communal – have been completed. As of October 2022, 575 contaminated sites and 1,542 areas suspected of being contaminated have been identified.

PFAS Processing in Hamburg

PFAS pollutants have been a priority issue for the Department of Soil Protection and Contaminated Sites since 2014. Existing literature was evaluated, and an initial strategy for processing PFAS was developed. The first target was to identify relevant sites, and then investigations of polluters were carried out via official investigations. A list of areas where extinguishing foams had been used was drafted, and, aside from the sites of large fires, mostly consisted of fire stations, state fire brigade schools, and companies with their own fire brigades. Later, electroplating plants and landfills (from the 1960s onwards) were added to the list.

Once identified, these areas have been systematically investigated. The initial focus was companies with their own fire brigades. Of these, five sites (refineries and airfields) are currently known in Hamburg. In these cases of private remediation responsibilities, the fire extinguishing training areas of their fire brigades were looked at first. Research was then focused on instances of damage, and the suspected areas were thoroughly examined. In known contamination hotspots, the groundwater was analysed for PFAS pollutants, and, when necessary, investigations were launched. Extinguishing agent lines were checked, feasibility studies were commissioned and remediation preparations were made.

Ministry of Environment, Climate, Energy and Agriculture (BUKEA), Hamburg
Department for soil protection and contaminated sites

PFAS – Presence in Groundwater and Soils

Dipl.-Geol./Dipl.-Ing. (FH) Astrid Klose

Official sampling campaigns were initially focused on existing groundwater monitoring wells (GWM) for capacity reasons. Wells in the vicinity and drainage water from landfills were later investigated. But no significant PFAS findings have been made to date. Major fire-fighting actions by the Hamburg Fire Department continue to be systematically addressed. Cooperation with the department has not been satisfactory in the past, but work is continuing on this.

In the meantime, the scope of investigation has been expanded to include Capstones, and TOP-Assay analytics have been established in German laboratories. In 2017, when this analytical method was introduced, the City of Hamburg started to apply this methodology to its official investigations. The register of contaminated sites has now been extended by two additional categories:

- PFAS contaminated industrial sites (AST), comprising 28 sites,
- PFAS fire extinguishing agent sites (LSE), comprising 18 sites.

While extinguishing foams have been determined to be the major cause of PFAS contamination, the second highest amount of PFAS damage is suspected to have been caused by companies with electroplating facilities. In order to identify the relevant companies, three cadastres with a total of over 300 companies were evaluated, technically and statistically, as part of a bachelor's thesis. As a result, 29 plants and companies have been identified as possible PFAS polluters, and will be examined more closely in future investigations.

Next Steps

Within the environmental authority, an interdisciplinary exchange between departments (contaminated sites, immission control, waste management, water and wastewater management, laboratory) has been established, and has produced many significant findings and results. This exchange will continue, and additional research, orientation and detailed investigations are pending. Dialogue with the Hamburg Fire Department will be intensified, and a systematic exploration of public and private fire stations should be implemented. Finally, it is clear that the ArcGIS projects and the cadastres must be expanded to include sites with PFAS damage.

A lot of work still needs to be done!

PFAS fingerprinting: A multivariate forensic analysis to detect the origin and extent of PFAS contamination in Northern Italy

Carlo Monti

¹ Carlo Monti, TIG Environmental, Lugano, CH

* Presenting Author: Carlo Monti, Telephone: +39 329 9173066, cmonti@intell-group.com

PFAS are omnipresent in environmental media and are distributed globally. Their potential to enter the food chain is high, thanks to their ability to migrate from water to soils and be taken up by plants. These substances can enter the human body through food, drinking water, and direct skin contact; moreover, they are not metabolized and can bio-accumulate. Contact with PFAS-containing materials (e.g., water-resistant materials, detergents, paints, fabrics) can also increase human exposure. The scope of this project is to demonstrate an approach to identify original PFAS sources using a multivariate method (PCA and cluster analysis) and PVA (polytopic vector analysis) algorithm developed in R by the authors. This case study is in the Veneto Region of Northern Italy. The chronology of the case is: 2013: PFAS was found in groundwater, surface water and drinking-water supply for 127,000 people; 2013 – 2018: Water and bio-monitoring studies conducted; 2014: PFAS thresholds established for Veneto Region (PFOS: ≤ 30 ng/L; PFOA: ≤ 500 ng/L; Other PFAS: ≤ 500 ng/L); 2017: Legal case developed against a nearby chemical plant manufacturing PFAS; 2018: Chemical plant filed for bankruptcy and released all 121 employees. Data were obtained from a public water monitoring database¹ containing more than 8,000 samples analyzed for PFAS in groundwater, surface water, springs, and treated industrial wastewater discharged to surface water. After database review, nearly 1,400 samples and eight PFAS out of 18 (PFBA, PFPeA, PFBS, PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFOA, PFOS) were deemed useable for fingerprinting. The distribution of the concentration of the three major compounds are reported in the following figures with reference to the limits enforced in the Veneto Region legislation and with regards to the geographic position of the Company (Figure 1, Figure 2 and Figure 3).

¹ <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/idrosfera/concentrazione-di-sostanze-perfluoroalchiliche-pfas-nelle-acque-prelevate-da-arpav>

PFOA

Exceedance Category ● <= 500 ng/L ● Exceeds 500 ng/L ● Nondetect

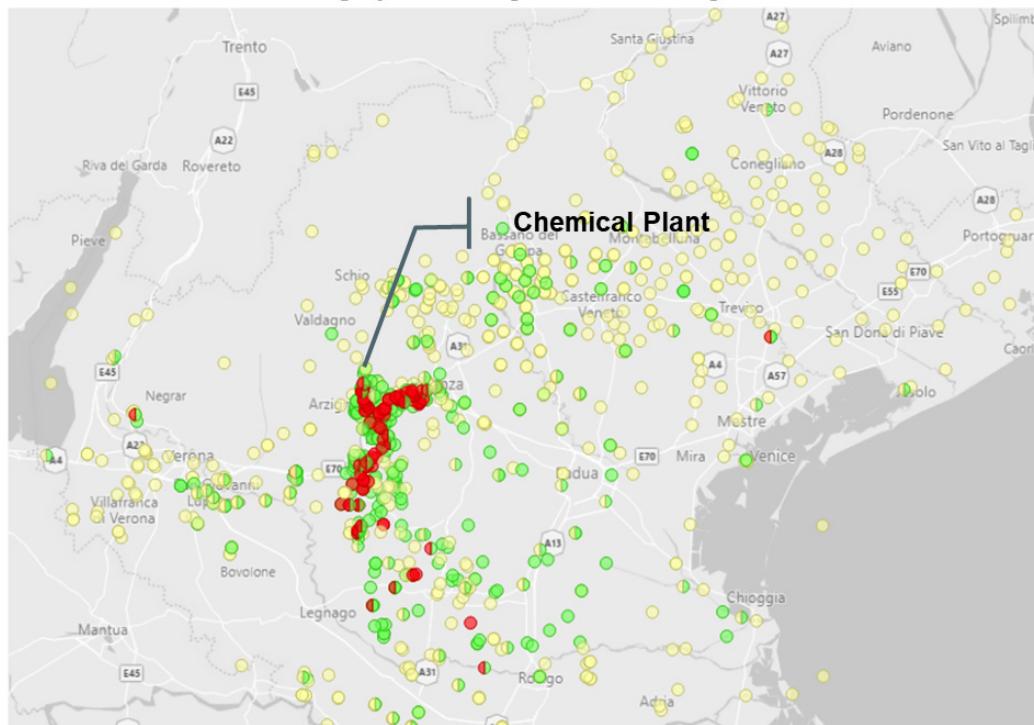


Figure 1: distribution of PFOA concentrations in the surface waters and groundwaters of the study area.

PFBS

Exceedance Category ● <= 500 ng/L ● Exceeds 500 ng/L ● Nondetect

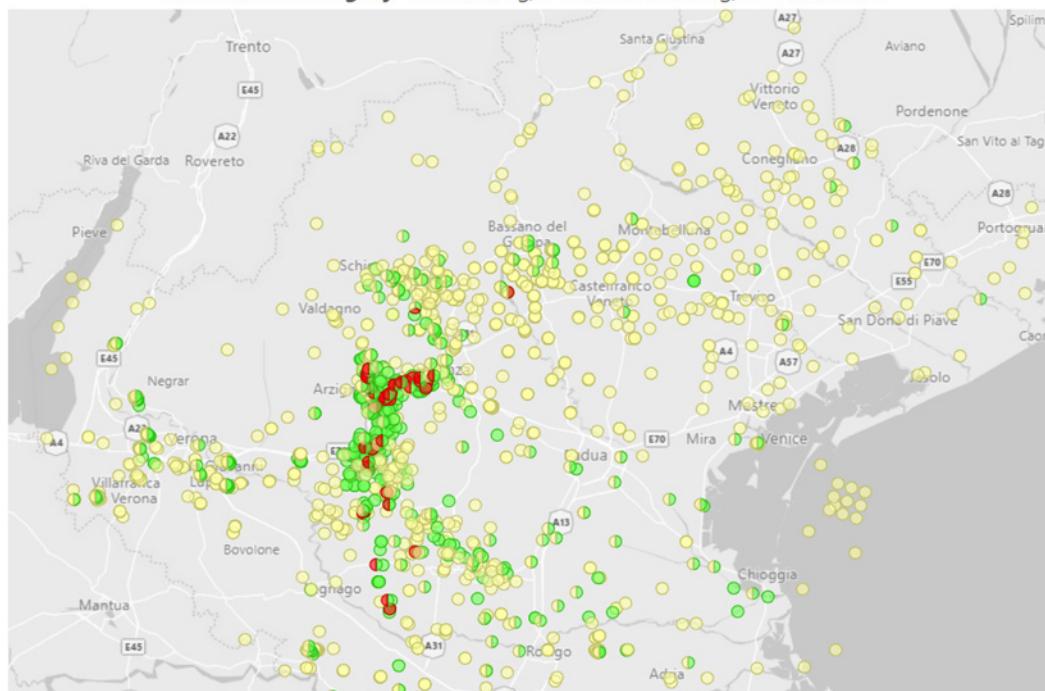


Figure 2: distribution of PFBS concentrations in the surface waters and groundwaters of the study area

PFBA

Exceedance Category ● <= 500 ng/L ● Exceeds 500 ng/L ● Nondetect

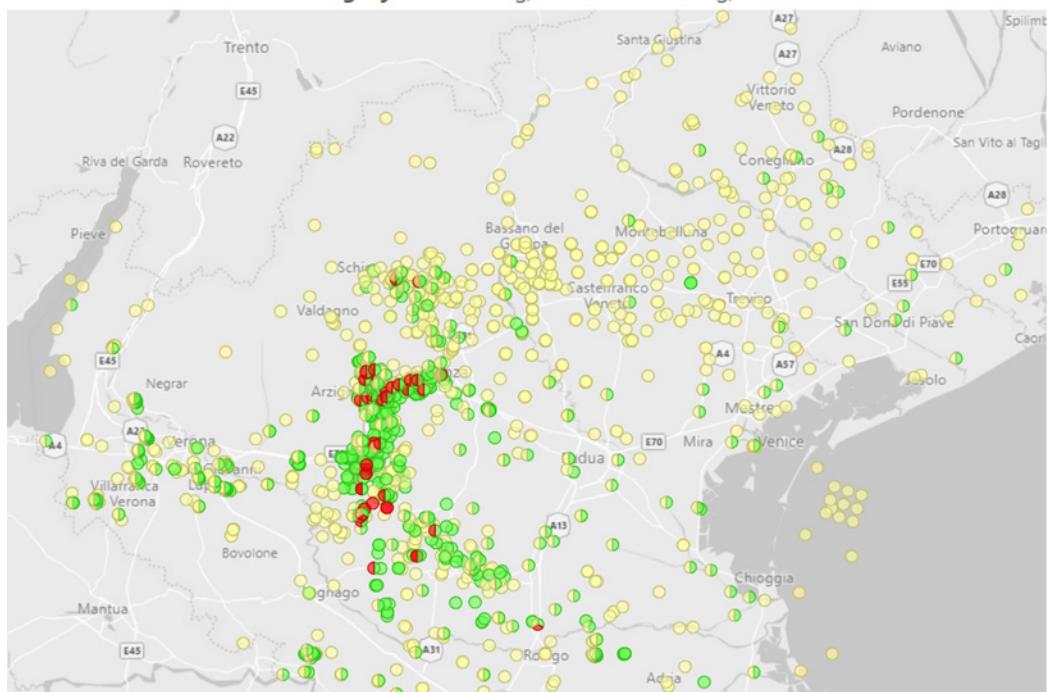


Figure 3: distribution of PFBA concentrations in the surface waters and groundwaters of the study area

The fingerprint of a nearby chemical plant manufacturing PFAS was also derived from public data. The PCA (Figure 4), cluster analysis (Figure 5 and Figure 6), and PVA results indicate that in certain parts of the Veneto region groundwater and surface water contamination is associated with the nearby PFAS manufacturer and industrial sources, while other sources are responsible for PFAS contamination elsewhere in the Region. The results highlight the ability of the approach to differentiate original sources of PFAS contamination, particularly when source fingerprints can be derived.

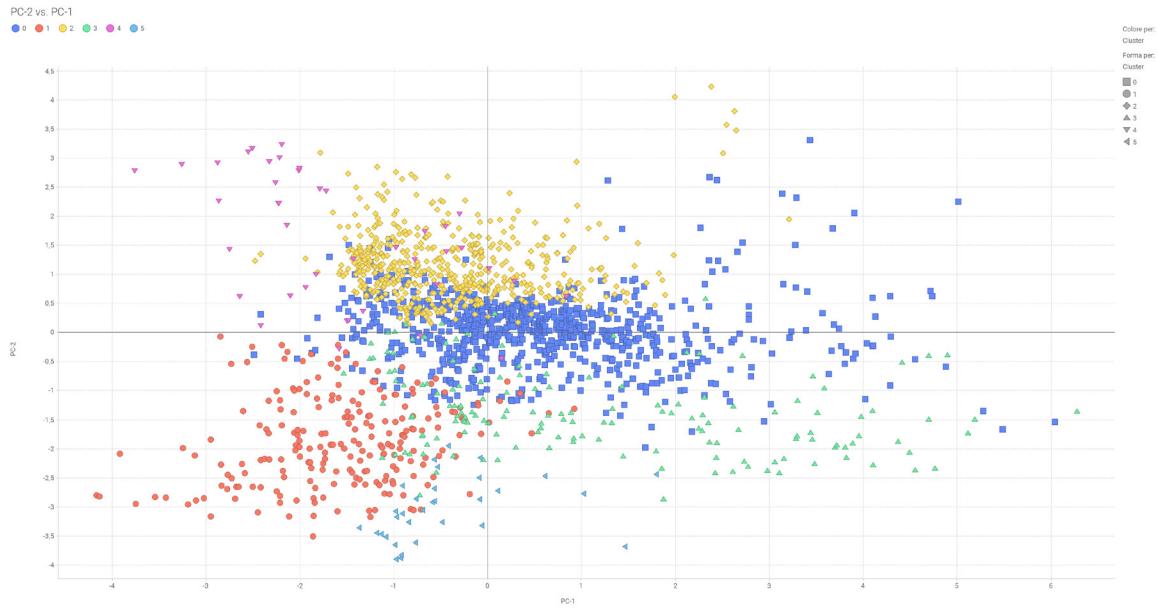


Figure 4: results of the PCA as applied to all the samples that remained in the database after the quality screening. The database contains samples of groundwater, freshwater, springs, industrial wastewaters and samples related directly to MITENI groundwater. The cluster that represents the MITENI fingerprint is the yellow one.

The main conclusions that should be derived from this preliminary analysis are:

- The final composition of the sources (clusters) derived by PVA and cluster analysis are reported in the following figures (Figure 5 and Figure 6). The fingerprint of each cluster is represented in the first figure. Each cluster have a well defined fingerprint;
- Clearly cluster 2 (the MITENI's one) and 4 (Industrial wastewater one) show a completely different fingerprint. The first is dominated by PFOA while the second by PFOS;
- Cluster 1 is dominated by PFBS and cluster 5 and 3 by PFBA. Different dominant PFAS compounds indicate, very often, a different origin of the contaminant.
- All the MITENI samples belong together with a small percentage of Groundwater and Freshwater samples.
- The larger part of Groundwater and freshwater samples belong to Cluster 1 which is the cluster containing more than 80% of the samples of the industrial discharges collected and treated in the Vicenza province.
- The principal limits of these analysis are also presented. Some advanced fingerprinting techniques are explored to enhance the analysis.

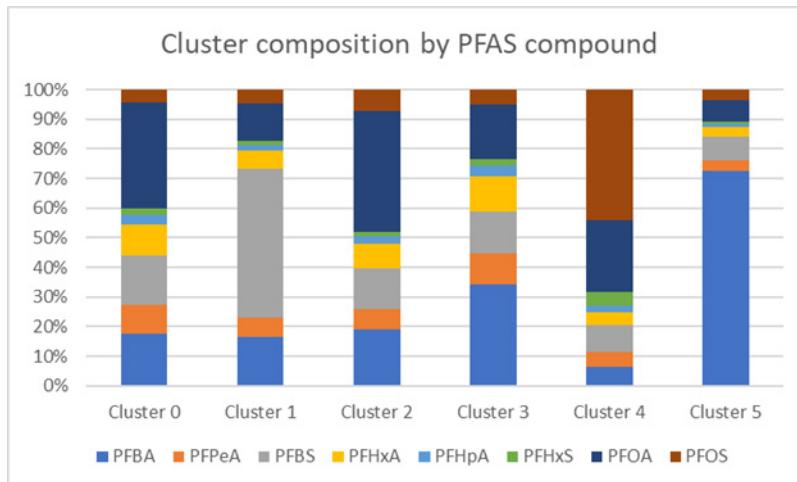


Figure 5: chemical composition of the clusters. Cluster 2 represents MITENI fingerprint.

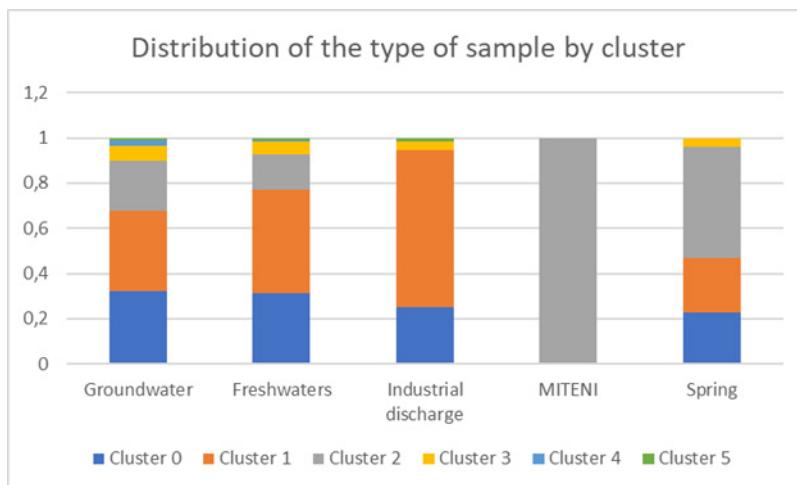


Figure 6: distribution of the samples in the clusters by type of sample.

The SFSE management guideline for PFAS : contamination sources, environmental behavior and risk assessment

Marie JAILLER, secretary of the Health Risk assessment methodology Working group in SFSE et Risk Expert in SPAQvE (Belgium)

Context

The French-speaking Association of Health and Environment (SFSE), created in France in 2008, aims to be the place where knowledge, know-how and let-know can be met on the topic of environment-health. At the crossroads of fields as toxicology, epidemiology, expiology, chemistry, medicine, human and social sciences, law and management, Environmental Health cannot do without a global approach.

As early as 2004, Per and Poly Fluoro Alkyl Substances (PFAS) were measured in the environment in Scandinavia (Kärrman A., 2019). Since then, environmental pollution linked to PFAS and revealed to the general public in Europe (in Belgium in 2021, in France and in Italy in 2022, links to articles in § Bibliography) has led to an awareness of the impact of this pollution on the health of the population. Paradoxically, many scientific publications deal with PFAS but there are still major uncertainties, due to scattered data on their behaviour or toxicity. In this context of uncertainties, the management of an environmental and/or health crisis related to PFAS is complex.

In order to help the authorities and consultancy firms concerned by this issue, the SFSE has decided to summarise the available information and to draw up practical sheets to make them available to as many people as possible, in a pragmatic manner: What are the main industrial activities that are sources of PFAS? Under what circumstances should PFAS be analysed and in what medium (soil, water, air)? Which sampling and analysis methods should be chosen? What parameters should be used to carry out the risk assessment? How can remediation be carried out in an economically sustainable way?

The risk assessment of PFAS must take into account the specificities detailed below.

Sources: not just airports and military sites

PFAS include 4700 synthetic organic compounds, all of which are derived from industrial processes (European Environment Agency, 2022). Their properties of high temperature resistance, chemical stability and waterproofing power are assets for industries and are explained by the strong and stable carbon-fluorine bond.

PFAS are used in fire-fighting foams but are also found in everyday products: plasticized paper, food packaging (grease resistant films), various waterproofed clothes and textiles (against rain or dirt), sports equipment, surfactants (allows the emulsion of organic liquids with water), photolithography tools (anti-reflection coating), semiconductors (surface protection), varnishes, paints, adhesives, medical equipment, beauty and hygiene products (shampoo, sun cream). The whole population uses these products on a daily basis and is exposed to PFAS, which is becoming a public health issue.

PFAS production started in the 1940s, mainly by 8 international industries (in alphabetical order): Arkema, Asahi, BASF Corporation, Clariant, Daikin, DuPont, 3M/Dyneon and Solvay/Solexis (ITRC, 2022). Until 2000, the US company 3M was the world's largest manufacturer.

As a result, PFAS are expected to be present in the environment, in order of importance (ITRC, 2022, Merly C., 2020):

- on fire-fighting training areas (airports, military bases, fire-fighting training sites, oil refineries) where fire-fighting foams (also called AFFF for Aqueous Film-Forming Foam) containing PFAS are used;
- in the factories where they are produced;

- in the industrial processes in which they are used: textiles and leather, paper/cardboard, metallization and galvanization (anti-corrosion action, used to limit workers' exposure to chromium VI aerosols), cable manufacturing, surfactant manufacturing, photolithography, semiconductors, aeronautics (hydraulic fluids) as well as fire-fighting foam manufacturers ;
- in waste water treatment plants;
- in waste storage facilities.

Where appropriate, adding PFAS to the list of compounds to be analysed is a reflex to be adopted after the historical review of activities, without forgetting the precursors.

In Europe, the following PFAS production sites indicated high contamination for the local population: in France (Arkema in Lyon), Belgium (3M in Zwijndrecht), Italy (Solvay in Spinetta Marengo).

Environmental chemistry: PFOS and PFOA, the tree that hides the forest

PFAS are compounds containing a chain of hydrophobic carbon and fluorine atoms [C_nF_{2n+1-R}] with a hydrophilic functional group at its end, such as a sulphonate (SO₃₋) or carboxylate (CO₃₋). They can be present in both ionised and non-ionised forms.

Due to their high water solubility and low volatility, most of PFAS are measured mainly in groundwater (rather long chains) and surface water (rather short chains). In the environment (pH between 5 and 9), PFAS are present in anionic form, thus explaining their low sorption to soils and sediments (which are negatively charged) and their high solubility in water. Due to their hydrophilic/hydrophobic character, PFAS tend to accumulate at the water/air interface for surface waters. Their tendency to accumulate at the top of a groundwater table is a current topic of research. With a dispersion potential in groundwater equivalent or even higher than that of benzene and trichloroethene, PFAS are measured over long distances, even at the North Pole. Thus, the sampling strategy should include sampling points far downstream of the source.

Data on saturation vapour pressure (very different depending on the ionised or non-ionised form), Henry's law constant (H) and organic carbon/water partition coefficient (K_{oc}) available in the literature - mainly for PFOS and PFOA - are very variable and often only exist for the acid form (not present in the environment). In order to better estimate the behaviour of PFAS, data related to the appropriate form should be selected and on-site measurement of the adsorption coefficient based on the soil organic carbon content (K_{oc}) is recommended.

Particular care should be taken when collecting PFAS, avoiding the use of materials containing "fluorine" to avoid false positives. Analytical laboratories encounter difficulties in analysing PFAS: only about thirty compounds can be quantified, with limits of quantification sometimes higher than the regulatory values and suspicions of interference, increasing the difficulties of interpretation. To compensate for these uncertainties, it is recommended to increase the number of blank and replicate analyses.

As some PFAS decompose into perfluorinated acids which are more toxic and do not degrade, the precursors should also be analysed.

Risk assessment: 5 compounds (only) well known for their effects on human health and for which knowledge is evolving

The risk assessment of PFAS for human health and the environment is complex: it cannot consider the mixing effect of these 4700 compounds because there are not 4700 Toxicological Reference Values (TRV). Human toxicity data are only available for : PFOS, PFOA but also for PFHsX, PFDA and PFNA.

The main routes of exposure are ingestion of contaminated drinking water (tap water) or contaminated food. In 2020, EFSA assessed the exposure of the European population to PFAS through food (EFSA,

2020). Based on 67,839 samples analysed in 16 countries (of which 33,000 analysed in fish), the main exposure to PFAS comes from fish consumption (in particular carp, eel, roach, perch and sardine) followed by fruit and eggs.

The TRV evolve every year with a drastic decrease in the maximum permissible dose for PFOS and PFOA, divided by a factor of 10 in 10 years. Regarding the mixture effect, the RIVM (RIVM, 2018) proposes to use relative potency factors (RPF) for 12 compounds, based on liver toxicity effects. EFSA (EFSA, 2020) proposes a different 'exposure indicator' approach.

Despite the positive will to improve the health situation by producing shorter-chain PFAS, the results of toxicological studies do not yet provide reassurance that the toxic effects of these alternatives will be reduced.

Bibliography

[La Flandre secouée par un scandale environnemental qui nous concerne tous - rtbf.be](#)

[Pollution aux perfluorés : "De l'eau contaminée dans 200 000 foyers au sud de Lyon" \(lyonmag.com\)](#)

[Les voisins d'une usine de Solvay sont 5 fois plus exposés aux PFAS, des scientifiques belges jugent la contamination préoccupante - rtbf.be](#)

Kärrman A, Wang T. and Kallenborn R. PFASs in the Nordic environment Screening of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and Extractable Organic Fluorine (EOF) in the Nordic Environment, 2019 - <http://dx.doi.org/10.6027/TN2019-515>

Merly C. (2020). Les composés alkyls poly/perfluorés. Etat de l'art et enjeux dans un contexte SSP. Rapport final. BRGM/RP-69594-FR, 171 p.

ITRC (2022). Per and Polyfluoroalkyl substances (PFAS). Technical and regulatory guidance. June 2022

EFSA (2020). CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregard L, Ceccatelli S, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F and Schwerdtle T, 2020. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223, 391 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.622>

European Environment Agency (2022). Emerging chemical risks in Europe : PFAS

RIVM (2018). Mixture exposure to PFAS : a relative potency factor approach. RIVM Report 2018-0070

Guide de gestion PFAS de la SFSE : sources, chimie environnementale, évaluation des risques

The SFSE management guideline for PFAS : contamination sources, environmental behavior and risk assessment

Marie JAILLER, secrétaire de la Section d'évaluation des impacts et risques sanitaires de la SFSE et Expert risques – SPAQuE (Belgique)

Marie JAILLER, secretary of the Health Risk assessment methodology Working group in SFSE et Risk Expert in SPAQuE (Belgium)

Contexte

La Société Francophone de Santé et Environnement (SFSE), créée en France en 2008, a pour objectif d'être l'espace où les connaissances, le savoir-faire et le faire-savoir peuvent se concilier sur la thématique environnement-santé. Au carrefour de disciplines aussi variées que la toxicologie, l'épidémiologie, l'expologie, la chimie, la médecine, les sciences humaines et sociales, le droit et la gestion, la Santé Environnement ne peut se passer d'une approche globale.

Dès 2004, les **Per et Poly Fluoro Alkyls Substances (PFAS)** ont été mesurés dans l'environnement en Scandinavie (Kärrman A., 2019). Depuis, les pollutions environnementales liées aux PFAS et révélées au grand public en Europe (en Belgique en 2021, en France et en Italie en 2022, liens vers articles dans § Bibliographie) ont conduit à une prise de conscience de l'impact de ces pollutions sur la santé de la population. Paradoxalement, de nombreuses publications scientifiques traitent des PFAS mais il persiste de grandes incertitudes à ce jour, du fait de données éparses sur leur comportement ou sur leur toxicité. Dans ce contexte d'incertitudes, la gestion d'une crise environnementale et/ou sanitaire liée aux PFAS est délicate.

Afin d'aider les autorités et les bureaux d'études concernés par cette question, la SFSE a décidé de synthétiser les informations disponibles et d'élaborer des fiches pratiques pour les mettre à disposition du plus grand nombre, avec pragmatisme : Quelles sont les principales activités industrielles sources de PFAS ? Dans quelles circonstances doit-on analyser les PFAS et dans quel milieu (sol, eau, air) ? Quelles méthodes de prélèvement et d'analyse choisir ? Quels paramètres utiliser pour mener l'évaluation des risques ? Comment réaliser l'assainissement de manière soutenable économiquement ?

L'évaluation des risques liés aux PFAS doit prendre en compte des spécificités détaillées ci-dessous.

Sources : ce ne sont pas uniquement les aéroports et les sites militaires

Les PFAS reprennent 4700 composés organiques de synthèse, tous issus de procédés industriels (European Environment Agency, 2022). Leurs propriétés de résistance à la haute température, de stabilité chimique et de pouvoir imperméabilisant sont des atouts pour les industries et s'expliquent par la liaison forte et stable carbone-fluor.

Les PFAS sont utilisés dans les mousses anti-incendie mais ils se retrouvent aussi dans les produits de la vie courante : le papier plastifié, les emballages alimentaires (films anti-graisse et anti-moisissure), les vêtements et textiles divers imperméabilisés (contre la pluie ou les salissures), les équipements de sport, les surfactants (permet l'émulsion des liquides organiques avec l'eau), les outils de photolithographie (revêtement anti-reflet), les semi-conducteurs (protection de surface), les vernis, les peintures, les adhésifs, le matériel médical, les produits de beauté et d'hygiène (shampooing, crème

solaire). L'ensemble de la population utilise ces produits quotidiennement et est exposée aux PFAS, ce qui devient un enjeu de santé publique.

La production des PFAS a commencé dans les années 1940, assurée principalement par 8 industries internationales (dans l'ordre alphabétique) : Arkema, Asahi, BASF Corporation, Clariant, Daikin, DuPont, 3M/Dyneon et Solvay/Solexis (ITRC, 2022). Jusqu'en 2000, la société américaine 3M était le 1^{er} producteur mondial.

De ce fait, la présence de PFAS dans l'environnement est attendue, par ordre d'importance (ITRC, 2022, Merly C., 2020) :

- sur les aires d'entraînement de lutte incendie (aéroports, bases militaires, sites d'entraînement des pompiers, raffineries de pétrole) où les mousses anti-incendie (appelées aussi AFFF pour Aqueous Film-Forming Foam) contenant des PFAS sont utilisées ;
- dans les usines où ils sont produits ;
- dans les processus industriels dans lesquels ils sont utilisés : textile et cuir, papier/carton, métallisation et galvanisation (action anti-corrosion, utilisés pour limiter l'exposition des travailleurs aux aérosols de chrome VI), fabrication de câbles, fabrication de surfactants, photolithographie, semi-conducteurs, aéronautique (fluides hydrauliques) ainsi que les fabricants de mousse anti-incendie ;
- dans les stations d'épuration des eaux usées ;
- dans les centres de stockage de déchets.

Le cas échéant, ajouter les PFAS à la liste des composés à analyser est un réflexe à adopter à l'issue du bilan historique des activités, sans oublier les précurseurs.

En Europe, les sites de production de PFAS suivants ont indiqué des fortes contaminations pour la population riveraine : en France (Arkema à Lyon), Belgique (3M à Zwijndrecht), Italie (Solvay à Spinetta Marengo).

Chimie environnementale : PFOS et PFOA, l'arbre qui cache la forêt

Les PFAS sont des molécules comprenant une chaîne constituée d'atomes de carbone et de fluor [$C_nF_{2n+1}-R$] hydrophobe, avec un groupe fonctionnel hydrophile à son extrémité, de type sulfonate (SO_3^-) ou carboxylate (CO_2^-). Ils peuvent être à la fois présents sous forme ionisée ou non.

Du fait de leur grande solubilité dans l'eau et de leur faible volatilité, la majorité des PFAS est mesurée principalement dans les eaux souterraines (plutôt les chaînes longues) et les eaux de surface (plutôt les chaînes courtes). Dans l'environnement (pH compris entre 5 et 9), les PFAS sont présents sous forme anionique, expliquant ainsi leur faible sorption aux sols et aux sédiments (qui sont chargés négativement) et leur grande solubilité dans les eaux. Du fait de leur caractère hydrophile/hydrophobe, les PFAS tendent à s'accumuler à l'interface eau/air, pour les eaux de surface. Leur tendance à s'accumuler au sommet d'une nappe souterraine est un sujet de recherche actuel. Avec un potentiel de dispersion dans les eaux souterraines équivalent voire supérieur à celui du benzène et du trichloroéthène, on mesure des PFAS sur de longues distances, même au pôle Nord. Ainsi, la stratégie d'échantillonnage devra prévoir des points de prélèvement situés loin en aval hydraulique de la source.

Les données de pression de vapeur saturante (très différente en fonction de la forme ionisée ou non), constante de Henry (H) et de coefficient de partage carbone organique/eau (Koc) disponibles dans la littérature – essentiellement pour PFOS et PFOA – sont très variables et n'existent souvent que pour la forme acide (non présente dans l'environnement). Pour mieux estimer le comportement des PFAS, il faut choisir les données liées à la forme adéquate et une mesure sur site du coefficient d'adsorption établi en fonction de la teneur en carbone organique du sol (Koc) est recommandée.

Le prélèvement des PFAS doit faire l'objet d'une attention particulière en évitant l'utilisation de matériaux contenant du « fluor » pour éviter des faux positifs. Les laboratoires d'analyses rencontrent

des difficultés à analyser les PFAS : seule une trentaine de composés peuvent être quantifiés, avec des limites de quantification parfois supérieures aux valeurs réglementaires et des suspicions d'interférence, augmentant les difficultés d'interprétation. Pour pallier ces incertitudes, il est recommandé de multiplier les analyses de blancs et de réplicas.

Comme certains PFAS se décomposent en acides perfluorés qui sont plus toxiques et qui ne se dégradent pas, les précurseurs doivent également être analysés.

Evaluation des risques : 5 composés (seulement) bien connus pour leurs effets sur la santé humaine et pour lesquels les connaissances évoluent

L'évaluation des risques liés aux PFAS pour la santé humaine et pour l'environnement est complexe : elle ne peut considérer l'effet de mélange de ces 4700 composés car il n'existe pas 4700 Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). Les données de toxicité sur l'homme sont uniquement disponibles pour : PFOS, PFOA mais également pour PFHsX, PFDA et PFNA.

Les voies principales d'exposition sont l'ingestion d'eau de boisson contaminée (eau du robinet) ou de nourriture contaminée. En 2020, l'EFSA a évalué l'exposition de la population européenne aux PFAS par l'alimentation (EFSA, 2020). Sur la base de 67 839 échantillons analysés dans 16 pays (dont 33 000 analyses dans les poissons), l'exposition principale aux PFAS provient d'abord de la consommation de poissons (en particulier, la carpe, les anguilles, les gardons, les perches et les sardines) puis des fruits et des œufs.

Les VTR évoluent chaque année avec une drastique diminution de la dose maximale admissible pour le PFOS et le PFOA, divisée par un facteur 10 en 10 ans. Concernant l'effet de mélange, le RIVM (RIVM, 2018) propose d'utiliser des facteurs d'équivalence relative (RPF) pour 12 composés, en se basant sur les effets toxiques sur le foie. L'EFSA (EFSA, 2020) propose une approche différente de type « indicateur d'exposition ».

Malgré l'impulsion positive d'améliorer la situation sanitaire en produisant des PFAS à chaîne plus courte, les résultats des études toxicologiques ne permettent pas à ce jour de rassurer sur une diminution des effets toxiques de ces produits de remplacement.

Bibliographie

[La Flandre secouée par un scandale environnemental qui nous concerne tous - rtbf.be](#)

[Pollution aux perfluorés : "De l'eau contaminée dans 200 000 foyers au sud de Lyon" \(lyonmag.com\)](#)

[Les voisins d'une usine de Solvay sont 5 fois plus exposés aux PFAS, des scientifiques belges jugent la contamination préoccupante - rtbf.be](#)

Kärrman A, Wang T. and Kallenborn R. PFASs in the Nordic environment Screening of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and Extractable Organic Fluorine (EOF) in the Nordic Environment, 2019 - <http://dx.doi.org/10.6027/TN2019-515>

Merly C. (2020). Les composés alkyls poly/perfluorés. Etat de l'art et enjeux dans un contexte SSP. Rapport final. BRGM/RP-69594-FR, 171 p.

ITRC (2022). Per and Polyfluoroalkyl substances (PFAS). Technical and regulatory guidance. June 2022

EFSA (2020). CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregard L, Ceccatelli S, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F and Schwerdtle T, 2020. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223, 391 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

European Environment Agency (2022). Emerging chemical risks in Europe : PFAS

Congrès international sur la gestion des pollutions et des risques sanitaires
Paris, 20 octobre 2022

Les effets des PFAS sur la santé humaine : que savons-nous ?
Health Effects of PFAS: what do we know ?

Dr. Sylvaine Ronga-Pezeret, Médecin Toxicologue – SFSE & Service des Etudes Médicales d'EDF (France)
Pascal De Giudici, Ingénieur Conseil en Santé-Environnement (France)

Abstract

The section called “Methodology of health risk and impact assessment” of the French-speaking Environmental Health Society (SFSE) presents its 2021 work concerning the health effects of Per-polyFluoroAlkyl Substances (PFAS). PFAS are a group of thousands man-made chemicals used in a variety of industrial and domestic fields around the world (e.g. textiles, household products, fire-fighting, automotive, food processing, construction, electronics). Updated data about their health effects are presented and a perspective is given in terms of reliability. Despite a large number of studies, knowledge of the health effects of this huge family of substances is limited to a small number of PFAS with varying levels of evidence. Research involving humans suggests that exposure to these chemicals may lead to the following: increased cholesterol levels, decreased immune response to vaccine in children, increased liver enzymes, high blood pressure and pre-eclampsia in pregnant women, decreased birth weight, increased risk of kidney or testicular cancer. But it is still difficult to draw conclusion on the actual impact on human health. Knowledge should progress through improvement in metrology, understanding of toxic modes of action as well as inter-species differences and identification of exposure mixtures.

Introduction

L'une des sections de réflexion et de travail de la Société Francophone de Santé et Environnement (SFSE) est consacrée à la « méthodologie d'évaluation des risques et impacts sanitaires ». Les membres de cette section sont issus d'agences et d'instituts nationaux, aussi bien français que belges, de bureaux d'étude et de services en charge des évaluations des risques sanitaires. Ils et elles sont ingénieur.e.s, toxicologues, médecins, chercheur.e.s de disciplines variées.

Cette section de la SFSE s'est donné comme objectif en 2021 le partage de connaissances et d'expériences quant à l'évaluation des risques liés à la contamination environnementale par les substances alkylées per-polyfluorées (PFAS) pour aboutir à la rédaction d'un guide sous forme de fiches sur les sources, la chimie environnementale et l'évaluation des risques incluant la connaissance des effets sur la santé humaine.

Dans un premier temps nous donnerons des pistes pour s'orienter dans cet univers chimique complexe puis nous exposerons les avancées et les limites des connaissances quant à leurs effets sur la santé humaine. Un glossaire pour les termes assortis d'un astérisque ainsi les principales références complètent ce texte.

Que sont les PFAS ?

Le sigle PFAS désigne l'ensemble des substances alkylées per-et polyfluorées. Ce sont des substances organiques (contenant donc des atomes de carbone) qui comportent de nombreuses liaisons entre atomes de carbone et atomes de fluor, liaisons considérées comme les plus solides de la chimie organique. Ce sont des substances de synthèse car le fluor se trouve dans la nature principalement sous forme de fluorures, rarement sous forme de substance organique avec un seul atome de fluor.

Focus sur la constitution chimique des PFAS

Les PFAS sont constitués d'une « queue » hydrophobe de chaîne hydrocarbonée linéaire ou ramifiée avec ou sans radicaux cycliques ou aromatiques contenant de nombreuses liaisons carbone-fluor. Quand le fluor remplace tous les atomes d'hydrogène (H) de la « queue » on parle de perfluorés, dans le cas contraire de polyfluorés. Cette « queue » hydrophobe plus ou moins longue est reliée à une « tête » hydrophile de différents types (acide carboxylique pour l'acide perfluoroctanoïque (PFOA) ou sulfonique pour le l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) par exemple). Des molécules identiques peuvent être reliées pour former des polymères. Ainsi on distingue les PFAS non-polymères des PFAS polymères.

Les PFAS, du fait de ces liaisons carbone-fluor qui exercent de plus un effet « bouclier » protecteur des liaisons C-C, sont extrêmement résistants, aussi bien à la chaleur - il faut jusqu'à 1000 degrés pour les rompre - qu'aux rayonnements, bases, acides et oxydants les plus puissants et à la dégradation biologique. Cette résistance associée à des propriétés d'anti-adhésivité et de surfactant sont à l'origine de multiples utilisations aussi bien sous forme de molécules simples (des poudres ou de cristaux voire des liquides pour des composés à chaîne courte) que de polymères (matières plastiques très résistantes). Du fait de leur persistance et de leur mobilité environnementale, les PFAS ont colonisé et colonisent l'environnement, les polyfluorés évoluant en perfluorés.

Combien en dénombre-t-on ?

La famille de ces PFAS est extrêmement vaste. L'Abstract Service de l'American Chemical Society dont la numérotation des substances est reconnue internationalement, en a identifié 4730. Des PFAS ont plusieurs CASN (Chemical Abstract Service Number, Numéro CAS en français) selon qu'ils correspondent à un acide ou à divers sels. Certains auteurs estiment que leur nombre pourrait atteindre 10 000 substances.

Cette famille est divisée en sous-familles. Pour ce qui concerne les non-polymères, la famille la plus étudiée est celle des acides perfluoro-alkylés désignée par l'acronyme PFAAs dont les « vedettes » sont l'acide perfluoroctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS).

Nous sommes tous exposés aux PFAS ...

« Je ne veux pas de PFAS ni dans mon verre d'eau ni dans mon poisson et vous non plus sans doute », ainsi s'exprimait le commissaire européen à l'environnement à Bruxelles en mai 2022 lors d'un discours consacré aux PFAS. Il est en effet essentiel de s'attaquer à la gestion de ces pollutions en Europe mais pas seulement.

A proximité des sources ponctuelles, comme des unités industrielles de production de PFAS ou des zones de simulation anti-incendie, le surcroît d'exposition des populations peut résulter de l'ingestion d'eau de boisson contaminée ou de consommation de poissons pêchés dans le voisinage. Mais en dehors de ces zones, les principales sources d'exposition sont l'alimentation (notamment par le biais des emballages alimentaires), des produits de consommation courante comme des produits d'hygiène, des produits cosmétiques, des imperméabilisants de tissus via notamment les poussières issues de ces tissus traités. L'inhalation peut être une source d'exposition supplémentaire encore peu documentée. Des études récentes ont montré que la voie alimentaire (boissons comprises) représentait environ 80% de l'exposition des adultes pour les PFAS étudiés. Pour l'exposition au PFOS, une étude chez les enfants de 2 ans a montré une contribution de 42 % pour l'ingestion de nourriture, 36 % pour l'ingestion de poussières, 20 % pour l'eau de boisson. L'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) a évalué en 2020 les niveaux moyens d'exposition de la population européenne, si le PFOS domine l'exposition des adultes, c'est le PFNA* (acide perfluoronoronanoïque et ses sels) qui est majoritaire pour ce qui concerne l'exposition des nourrissons du fait de la concentration de ce PFAS dans les aliments qui leur sont destinés.

... et nous sommes tous imprégnés par les PFAS

La lente élimination des PFAS de l'organisme et leur affinité pour les protéines du sang font des concentrations de PFAS dans le sérum sanguin un bon marqueur biologique de notre exposition à ceux-ci. Ces dosages permettent de se rendre compte que nous sommes tous imprégnés à des degrés divers et selon une répartition différente des PFAS. L'EFSA a réalisé en 2020 une synthèse des valeurs de concentrations sanguines européennes. Les concentrations sériques moyennes les plus élevées de PFOS sont de 7,5 ng/mL et de 4,94 ng/mL pour le PFHxS chez l'adulte alors qu'elles sont respectivement de 3,3 ng/mL et 0,56 ng/mL chez les enfants. Les études sur des employés des usines produisant des PFAS mettent en évidence des concentrations beaucoup plus élevées, allant de 500 à 7000 ng/mL de PFOS et PFOA.

Que savons-nous sur les effets sur la santé humaine ?

La connaissance des effets sur la santé de cette famille de substances est limitée à quelques PFAS selon des niveaux de preuve variés et toujours « in progress ». Il s'agit principalement de PFAAs et surtout ses deux « vedettes » le PFOA et le PFOS. Les défis pour évaluer la toxicité des PFAS sont nombreux. Le premier défi est leur nombre et leur diversité physico-chimique qui laisse préfigurer des devenirs dans l'organisme humain (toxicocinétique) et des modes d'action toxiques et effets variés (toxicodynamie). Complexité supplémentaire, nous sommes exposés à des mélanges de PFAS et ces mélanges sont différents selon les modalités d'exposition et les personnes exposées. De plus les animaux de laboratoire présentent des différences marquantes avec l'espèce humaine aussi bien en termes de devenir des substances que d'effets, pouvant rendre les prédictions des études expérimentales animales moins performantes.

Focus : moyens pour évaluer la toxicité des PFAS

Les études épidémiologiques cherchent à identifier des liens statistiques entre des expositions de populations humaines à des PFAS et des maladies. Elles fournissent des hypothèses aux chercheurs et participent à démontrer la nature causale de ces liens statistiques (en utilisant également les résultats d'études animales et *in vitro*). Pour ce faire il faut pouvoir évaluer les expositions humaines et maîtriser la mesure de ces substances de manière fiable dans les milieux d'exposition (eau, aliments, air, ...) ou les milieux biologiques (sang, lait maternel, ...). Des progrès sont réalisés mais la métrologie reste à améliorer si bien qu'il est parfois difficile de comparer les études. Il est aussi possible d'estimer la toxicité chez l'animal en donnant à ingérer des PFAS à des rats et/ou des souris puis de comparer les effets entre exposés et non exposés à différentes doses. Enfin des tests toxicologiques sans utiliser d'animaux, dits « *in vitro* » peuvent être réalisés. Ils ont pour objectif d'identifier les mécanismes et modes d'action des substances chimiques qui peuvent alerter sur des effets potentiels et corroborer des observations expérimentales ou épidémiologiques.

Les PFAS étudiés sont bien absorbés par voie orale c'est-à-dire qu'ils « passent » bien de l'eau de boisson ou de la nourriture voire de poussières ingérées vers le sang, puis ils sont distribués par le sang dans l'ensemble du corps en particulier dans le foie et les reins. L'absorption par inhalation n'est pas encore suffisamment étudiée. On en trouve également dans le liquide amniotique, le placenta, le fœtus et le lait maternel.

Les PFAAs sont excrétés dans les urines avec des variations de vitesse selon l'âge et le sexe. En fonction des études, la demi-vie du PFOA (temps nécessaire à l'élimination de la moitié de la charge sanguine en PFOA) chez l'homme varie de 2,5 à 8,5 ans, celle du PFOS de 4,3 à 27 ans, et celle des autres PFAAs à longue chaîne de 2 à 35 ans. Les PFAS dits à chaîne courte (PFBA, PFBS) présentent des demi-vies de quelques jours à un mois.

La recherche est très active et les connaissances progressent vite. Il est toutefois nécessaire de rassembler des preuves convaincantes *via* plusieurs études de différentes natures (voir encadré ci-dessus) pour que des groupes d'experts puissent se prononcer sur les effets sur la santé humaine.

Concernant le risque de cancer, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé en 2017 le PFOA comme cancérogène possible sur la base notamment d'apparitions de cancers rénaux et testiculaires chez les professionnels fortement exposés au PFOA. Les tumeurs développées suite à l'exposition des rats au PFOA concernent le foie, les testicules et le pancréas. Le règlement européen CLP a classé le PFOA, le PFOS, le PFNA et le PFDeA comme « susceptible de provoquer le cancer ».

Les autres effets identifiés de manière convaincante par des études épidémiologiques relevés par l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) sont :

- L'augmentation des lipides sanguins, notamment le cholestérol total et des lipoprotéines de basse densité (PFOA, PFOS, PFNA*, PFDA*) ;
- La diminution de la réponse immunitaire aux vaccins (PFOA, PFOS, PFHxS*, PFDA*) ;
- L'atteinte hépatique biologique (augmentation des enzymes hépatiques sanguins) (PFOA, PFOS, PFHxS*) ;
- l'hypertension chez la femme enceinte et prééclampsie (PFOA, PFOS) ;
- la diminution du poids à la naissance (20 g par augmentation de 1 ng/mL de PFOA ou PFOS) ;

L'association statistique des expositions avec une augmentation du risque de ménopause précoce (PFOA, PFOS, PFHxS* et PFNA*) est également solide. D'autres effets ont été identifiés, mais le nombre trop réduit d'études ou l'incohérence de leurs résultats les rend moins fiables, il s'agit d'atteintes ostéoarticulaires, de la fonction rénale, d'augmentation de l'acide urique sanguin (PFOA, PFOS). Sont aussi suspectées une augmentation du risque de bronchite chronique chez les populations voisines des centres de production (PFOA), l'augmentation du risque de maladies cardiaques ainsi que des modifications des taux d'hormones thyroïdiennes (PFOA, PFOS, PFHxS*, PFNA*, PFDA* et PFUnA*). Les études montrant des modifications des taux d'hormones sexuelles associées à l'exposition aux PFOA, PFOS, PFHxS*, PFNA*, PFUnA*, PFDoDA*, ou PFHxA* se sont avérées incohérentes.

Plus de 230 études animales sur les effets des PFAS ont été revues en 2021 par l'ATSDR, dont la très grande majorité concernait la voie orale. La plupart des études ont porté sur le PFOA (42 %) et sur le PFOS (31 %). Les principaux effets observés sont hépatiques, développementaux et immunologiques. L'exposition au PFOA de rats adultes peut provoquer des altérations des tissus testiculaires et ovariens. Les effets observés chez les animaux de laboratoire correspondent à des niveaux de PFAS sanguins nettement plus élevés que ceux observés chez l'homme en milieu du travail ou, a fortiori, en population générale mais les PFAS sont éliminés beaucoup plus rapidement des organismes animaux (demi-vie de l'ordre de quelques heures ou quelques jours versus plusieurs années). Enfin le mécanisme d'action toxique des PFAAs, le plus cité, serait l'activation du récepteur PPAR α , or les récepteurs chez les êtres humains seraient beaucoup moins « activables » que ceux des rats et des souris.

Focus sur les âges précoces de la vie dans les études animales

Des effets sur le développement des portées de mères exposées sont mis en évidence pour plusieurs PFAS alors que les mères ne présentent aucun effet. Ces constats sont inquiétants, même si les animaux sont soumis à des expositions élevées et que les études sur certaines souches de rongeurs sans récepteurs PPAR α confirment le rôle de ces récepteurs dans les effets sur la mortalité postnatale.

Il s'agit par exemple pour le PFOA de pertes prénatales, de réduction du poids et de la viabilité des portées, d'altérations neurodéveloppementales (troubles du comportement, troubles moteurs), de retards et altérations du développement osseux (morphologie et densité minérale), de retards dans la différenciation des glandes mammaires, l'ouverture des yeux et du vagin ainsi que de retard de la première ovulation. De plus une étude en lactation croisée ,qui permet de distinguer l'exposition *in utero* de celle médiaée par l'allaitement, a montré une diminution significative de la croissance post-natale dans les deux cas. L'exposition à de faibles doses de PFOA provoque une augmentation de gain de poids corporel chez de jeunes souris (10 à 40 semaines). De même, les embryons exposés *in utero* montrent, arrivés à l'âge de 18 mois, un poids supérieur aux embryons exposés après la naissance une fois parvenus au même âge. Les effets du PFOS ont été généralement montrés sur les rats et comprennent la réduction du poids et de la viabilité des portées, des retards dans l'ouverture des yeux, l'apparition de fentes palatines et une altération neurodéveloppementale (trouble de la motricité). Les effets des autres PFAS étudiés comprennent la mortalité fœtale (PFDA) et la diminution de la taille et de la viabilité des portées (PFNA). Le PFHxS provoque des troubles du comportement.

Quelles valeurs toxicologiques de référence pour évaluer les risques ?

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour l'ingestion (hors cancer) sont des doses limites élaborées substance par substance pour des expositions prolongées avec l'objectif de protéger de tous les effets l'ensemble de la population, individus les plus sensibles compris. Elles dépendent des connaissances disponibles et sont en constante évolution.

A date de juin 2021, en consultant uniquement les sites nationaux et internationaux recommandés en France, les VTR disponibles ne concernaient que la voie orale et uniquement le PFOA, le PFOS, le PFHxS*, le PFBuS*, le PFBA*, le PFHxA*. En plus de ces VTR par substance, l'EFSA a émis en 2020 une valeur pour la somme PFOA+PFNA*+PFOS+PFHxS* et ce à la place des valeurs PFOA et PFOS publiées auparavant. En 2018 l'Institut néerlandais de santé publique (RIVM) a proposé une approche de type facteur d'équivalence toxique pour 19 PFAS sur la base d'effets sur le foie de rongeurs. Enfin la « Texas Commission of Environmental Quality » a élaboré une approche pragmatique pour évaluer les risques de 16 PFAS. Cet inventaire et son suivi sont un des objectifs de la section méthodologie de la SFSE.

Glossaire

PFAAs : acides alkylperfluorés (perfluoro alkyl acid) [une des sous-familles de PFAS](#)

PFAS : Substances alkyl per-polyfluorées (per- and polyfluoroalkyl substances)

PFBA : acide perfluorobutanoïque (perfluorobutanoic acid) 4C : « queue » 3 C + « tête » 1C

PFBuS : acide perfluorobutanesulfonique (perfluorobutane sulfonic acid) 4C : « queue » 4 C + « tête » OC

PFCAs : acides perfluorocarboxyliques (perfluoroalkyl carboxylic acids) [une sous famille des PFAAs](#)

PFDA : acide perfluorodécanoïque (perfluorodécanoic acid)

PFDoA : acide perfluorododecanoïque (perfluorododecanoic acid).

PFHxA : acide perfluorohexanoïque (perfluorohexanoic acid) 6C

PFHxS : acide perfluorohexanesulfonique (perfluorohexane sulfonic acid) 6C

PFNA acide perfluoro nonaoïque (perfluorononanoic acid) 9C

PFOA : acide perfluorooctanoïque (perfluorooctanoic acid) 8C

PFOS : acide perfluorooctane sulfonique (perfluorooctane sulfonic acid) 8C

PFOSA (FOSA) : perfluorooctanesulfonamide (perfluorooctane sulfonamide) 8C

PFSAs : Acides perfluoroalkyl sulfoniques (perfluoralkyl sulfonic acid) [une sous famille des PFAAs](#)

PFUnA : acide perfluoroundecanoïque (perfluoroundecanoic acid) 11C

Références

Pour une vision d'ensemble accessible :

Kemi : overview of Knowledge on PFAS, Swedish Chemicals Agency, Stockholm 2022

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2021. Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. 993 p. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2018. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. EFSA Journal 2018;16(12):5194, 284 pp.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5194>

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2020. Scientific Opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223, 391 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

EPA. 2016a. Health effects support document for perfluorooctanoic acid (PFOA). UEPA822R16003. 322 p.

https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final-plain.pdf.

EPA. 2016b. Health effects support document for perfluorooctane sulfate (PFOS). EPA822R16002. 245 p.

https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoss_hesd_final_508.pdf.

EPA. 2017. Technical Fact Sheet – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA). 8 p. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-12/documents/ffrrofactsheet_contaminants_pfoss_pfoa_11-20-17_508_0.pdf

International Agency for Research on Cancer (IARC/CIRC). 2016. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 110.

ITRC (Interstate Technology Regulatory Council), 2020. Technical/Regulatory Guidance. Per- and PolyfluoroalkylSubstances (PFAS). 386 p. https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2020/10/itrc_pfss_techreg_sept_2020_508-1.pdf

Results concerning the European Joint Program HBM4EU on Human Biomonitoring of Pollutants with focus on PFAS

Marike Kolossa-Gehring for the HBM4EU consortium

People in Europe are still substantially exposed to various chemicals from different sources and via different exposure pathways. The European Human Biomonitoring Initiative, HBM4EU, running from 2017 to June 2022, is a joint effort of 30 countries, and the European Environment Agency and is co-funded under Horizon 2020 by the European Commission.

The work of HBM4EU aimed at generating the data and knowledge decision makers need to improve Europe's environment and health actions and programs. Highly quality assured Human Biomonitoring (HBM) data were harmonized and generated in the HBM4EU Aligned Studies. Additionally, HBM4EU has brought together knowledge and data from the partner countries, made them fast and easily accessible for policy makers and interested parties, has closed the gap between science and policy, and developed concrete recommendations to be used by policy makers.

HBM4EU has provided a wealth of improved evidence of the actual exposure to chemicals by measuring either the substances themselves, their metabolites or markers of subsequent health effects in body fluids or tissues. Information on human exposure can be linked to data on sources and epidemiological surveys to inform research, prevention, and policy with the objective of addressing knowledge gaps and promoting innovative approaches. More information on HBM4EU can be found on the HMB4EU website www.hbm4eu.eu.

Determination of the internal exposure in humans is the best-suited tool to assess the exposure levels of substances of concern in the body taken up from all sources and by all exposure pathways. The datasets for priority substances, such as phthalates and DINCH, perfluorinated compounds (PFC), cadmium and Bisphenol A (BPA) cover the four European regions (north, south, east, west) and consist of 2000 to 3000 samples per substance from 9-12 different countries. Derivation of HBM Guidance Values (HBM GV) was broadly discussed and consented in the HBM4EU consortium. Consequently, HBM GVs used for the interpretation of exposure levels determined.

Questions from policy makers have guided the research on PFAS as well resulting in information about geographical differences in exposure, its determinants and the variations between regulated and unregulated PFAS. HBM4EU used tools to assess the potential health risk of PFAS exposure and approaches to determine group risks have been developed, delivering answers to the defined policy questions.

HBM4EU presents these results in tailored communication materials, accessible for policy makers, scientists and the general public, which can be found on the HBM4Eu website.

The HBM4EU Aligned Studies¹ (2014-2021) have generated baseline levels of internal exposure to 12 PFASs for European teenagers (1957 samples; age: 12-18 years). 14.26% of the European teenagers tested exceed the internal serum level of 6.9 µg/L PFASs, EFSA's² guideline value for a tolerable weekly intake of 4.4 ng/kg. The maximum exceedance from individual studies was 23.8%. Highest median values are observed in studies conducted in Northern and Western Europe. PFASs data from 17 HBM-studies can already be consulted in the online European HBM dashboard. Current exposure exceeds the EFSA Guidance values for PFASs in some parts of the EU population. PFASs concentrations are in general higher in men with a trend on participants with higher educational level having higher exposure levels. In some studies, higher levels of PFASs were observed with

increasing age. From the HBM4EU data collections, a decreasing trend for PFOA and PFOS concentrations can be derived, while this is not the case for other PFASs.

The project has received funding from the European Unions' Horizon 2020 research and innovation Programme under grant agreement No 733032 HBM4EU (www.hbm4eu.eu).



Management of substances by Groupe Renault, example of PFAS in car parts

Philippe ROLLAND – Material Department – Substances Expert

PFAS: International Congress on Poly & Perfluoro Alkyl Substances - Pollution management and health risks - Paris/ France - 20 October 2022

(English version)

1-Groupe Renault

As a car manufacturer since 1898, Groupe Renault is present in more than 100 countries. To meet the major technological challenges of the future, Groupe Renault relies on the complementarity of its four brands: Alpine, Renault, Dacia and Mobilize.

More than 111,000 employees in 38 countries share a common mission: to make mobility sustainable and accessible to everyone around the world.

<https://www.renaultgroup.com/groupe/>

Groupe Renault is part of the Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance.



2-The management of substances by Groupe Renault.

For the past 30 years, improving the management of substances in Renault Group cars and factories has been an ongoing concern. Since 1993, Groupe Renault has implemented a standard that has banned many substances. The use of "CMR" will then be quickly banned in its plants.

In 2009, Renault decided to anticipate the ban of SVHC substances from the REACH regulation, by banning their use in new cars whenever a replacement solution exists.

Today, Renault lists the substances present in all the parts and cars it manufactures, to replace them with a better solution for health and the environment on new car models.

3- Regulations on substances

Around the world, regulations on substances are increasing. However, it is the European regulations that maintain the leadership.

For this presentation, we selected the three regulations that cover the vast majority of regulated substances worldwide. It is the regulation «REACH» 1907/2006 - European major regulation on substances - the directive on the recyclability of vehicles out of use 2000/53 called «ELV», which also regulates the presence of heavy metals, and the Persistent Organic Pollutants Regulation 2019/2021 which is the translation into European law of the Stockholm Convention. We will also mention the "CLP" regulation No. 1272/2008, which classifies substances according to their toxicity.

The REACH regulation now identifies 224 substances of very high concern or "SVHC" and prohibits 59 according to the so-called "authorisation" mechanism. These substances are prohibited but an authorization for use may be granted upon request of each company concerned.

Another REACH mechanism, restriction, also regulates more than 1500 substances. With bonds that vary greatly from one restriction to another. Future regulations on PFAS will follow this restraint mechanism.

4-The European Green Deal

The European political will for carbon neutrality in 2050, known as the "green deal", includes an important chapter on substances. This is the sustainable chemicals strategy "CSS". The aim of this strategy can be perfectly summed up by a sentence by Carlo Petinelli, Director of DG Grow of the European Commission. "should some hazardous chemicals still be needed, then risks would need to be carefully assessed and managed!"

The CSS aims to regulate all toxic substances in a much simpler and faster way. To do this, CLP and REACH are under revision. New hazard classes will appear quickly in CLP, allowing for the identification of categories of new substances such as endocrine disruptors or persistent and mobile substances. The large PFAS family of 12,000 substances will be taken as a concrete example of the new way of regulating quickly. Another 120 substance families are being studied as part of the REACH-RNA process and are being published gradually in 2022
<https://echa.europa.eu/en/assessment-regulatory-needs>. As a result, a significantly higher number of substance prohibitions could occur starting in approximately 2026.

The Directive ELV regulates all substances containing one of the four heavy metals. Cadmium Mercury and Chromium VI have been eliminated. Lead has also been widely replaced. Some non-replaceable uses are still allowed, such as lead starting batteries.

Finally, the POP regulation prohibits substances or families of substances that are very persistent in the environment. First it targeted pesticides, then brominated flame retardants, now anti-UV additives used in plastics, and several families of fluorinated substances. Among fluorinated substances, PFOS were targeted as early as 2009, then PFOA in 2020, and likely soon will be targeted to PFHxS, PFCA and PFHxA.

The main obligations and consequences of these regulations for a Group like Groupe Renault are:

- 1- No longer use POPs, REACH substances "subject to authorization", comply with all REACH and ELV restrictions
- 2- Report REACH-SVHC substances according to REACH Article 33 and in the SCIP database

5-Groupe Renault's substances policy and the tools to implement it

Groupe Renault has put in place a substances policy which has three characteristics:

- 1- Global, it applies in the same way everywhere in the world
- 2- Anticipative, it prohibits substances in new cars, 7 years regulatory prohibitions, insofar as an alternative exists
- 3- Traceable substitution process when substitution takes longer to replace.

The socio-economic impact for the Renault Group of the disappearance of each substance is determined by the combination of three factors: the number of parts involved, the existence of substitution solutions, the technical and economic possibility of implementing them in a timely manner.

The Renault Group therefore needs all players in its supply chain to be organized to replace problematic substances. Groupe Renault has therefore been working for a long time to ensure the traceability of substances used in car parts.

In 2005, Groupe Renault decided to respond to the first challenge, which is to know which substance is present in which part, and became a member of the International Material Data System (IMDS). IMDS is a powerful computer tool that allows 100,000 companies working in the automotive industry around the world to report substances in every part. This gives the automotive industry unique information: the composition of materials and substances in each part. When we know that 30,000 parts are designed every year in Groupe Renault's design departments around the world, and that each part is composed of dozens of different materials, we can see that only a high-performance computer system, shared by all actors in the supply chain, allows access to detailed information. IMDS was first used for vehicle recycling. IMDS now allows Groupe Renault to obtain information on the number of parts containing a substance.

IMDS (International Material Dada System) www.mdsystem.com

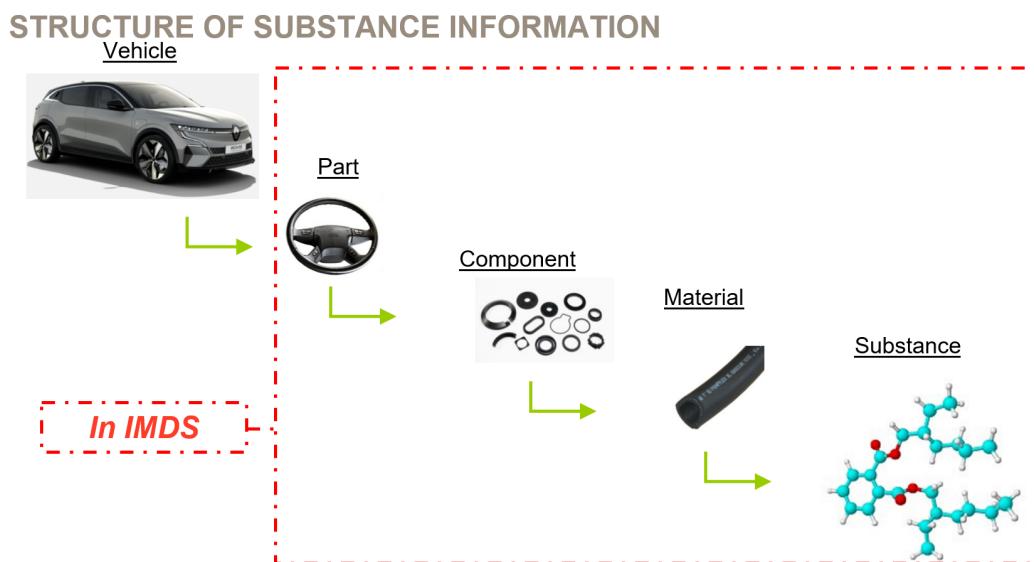


Figure 1: Mastering knowledge of substances in parts of the cars

To gain access to information on the existence of alternative solutions, the Renault Group participated in 2009 in the creation of a consortium of French manufacturers, eager to take the lead in replacing the most problematic substances. The 12 members of this consortium have mandated CETIM (Centre technique des industries de la mécanique) to conduct studies on problematic substances and their substitution. CETIM knows how to identify regulated substances around the world, and produces summaries on the most problematic alternatives. The best solutions for health and the environment are identified. These are also generally the solutions whose durability will be the best. The degree of industrial maturity of these solutions, that is to say whether the solution is at the stage of laboratory study or patent, or at the pre-industrialisation stage on a pilot plant, is, of course, an essential factor. These studies help determine the right time to replace a problematic substance.

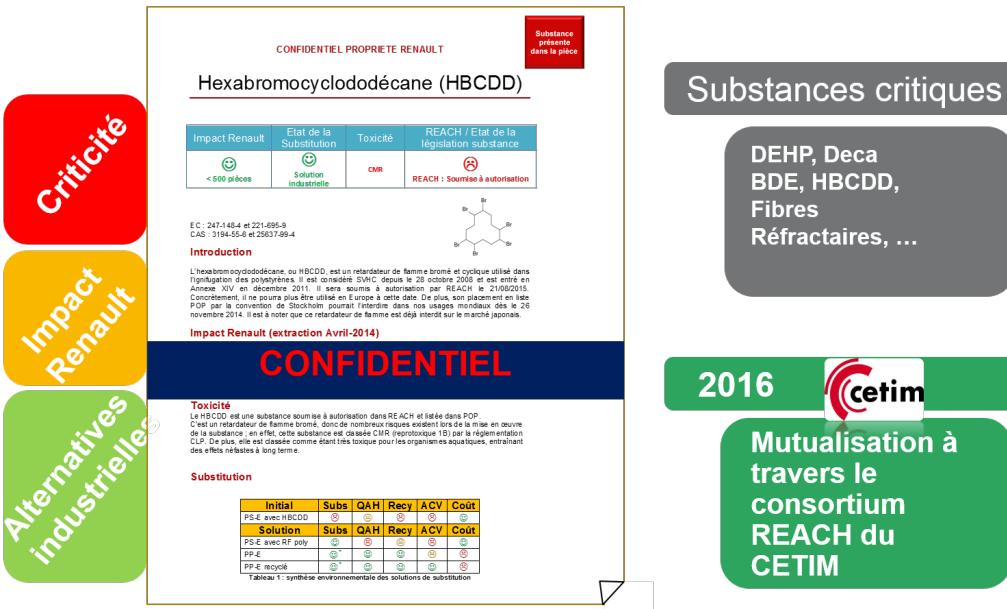


Figure 2: Substance summary sheet for Groupe Renault designers.

Once the existence of known solutions, Groupe Renault validates in the laboratory the most suitable solution. The typical duration of these laboratory validations is 2 years. The deployment can then begin. The most effective is to take advantage of a new car project to integrate this new solution. The validation of this solution will then be integrated into the test plan of the new car. At the same time this validation will be complete, and it will require no or few specific tests. However, this procedure requires the necessary time, that is to say 3 to 5 years.

That is why Groupe Renault has decided to anticipate bans on new cars by seven years.

The Renault Group also works with other car manufacturers and its automotive supply chain through the automotive platform in France and the European Automobile Manufacturers' Association in Europe (ACEA), with the federation of automotive suppliers (CLEPA), as well as with several professional federations in the fields of polymers, elastomers, and of course mechanics.

6-PFAS:

6.1 the regulation of PFAS

The PFAS are being totally regulated in Europe and in several states of the United States. In Europe, the REACH regulation will be the regulatory tool. The text of the restriction is not yet available, it should be known in early 2023. It seems that the proposal will be to ban 12,000 PFAS overall, except for couples (substance, use) for which industry has shown that use is essential for society. The concept of essential use must be clearly defined in order to be applicable.

6.2 simplified operational approach

The PFAS family can be divided into 3 main categories:

1. Fluorinated polymers and elastomers
2. Short-chain PFASs used for example to manufacture or implement fluoropolymers
3. The fluorinated gases.

6.3-PFAS traceability

The IMDS system allows good traceability of the first category, fluorinated polymers

For the other 2 categories traceability is partial.

This is due to the fact that the decision of the authorities to regulate all PFAS is recent, and to the fact that the vast majority of PFAS are absent from the REACH candidate list. So their reporting is not mandatory. This is a major handicap in identifying the materials and car parts in which PFAS could be found.

The French and European automobile industry has therefore come together to study very concretely why PFAS are used and to what extent the prohibition of all or part of PFAS would be possible. These studies are conducted on a limited number of representative parts or applications.

It is important to remember at this stage that most fluorinated polymers, such as Teflon for example, or elastomers such as FKM, are essential in many industrial uses. For example, the energy transition in automotive industry will be based on batteries or fuel cells whose manufacture requires fluorinated polymers.

Summary of our major challenges:

- We have to better know exactly where PFAS are used in our supply chain, why, how many and how much
- Then we will probably be able to define which uses are essential
- According to our current limited knowledge we understand that the PFAS restriction is a major challenge to our European business

7-Conclusion:

Groupe Renault's substance policy applies in the same way around the world, it bans substances seven years in advance for new car parts, and manages traceability and substitution.

For PFAS, several families are already banned or in the process of being banned. But the rapidity of banning all PFAS, without going through the REACH-SVHC «box», alters the traceability and does not allow all the anticipation that would have been necessary to prepare the substitution in the automotive industry.



Gestion des substances par le Groupe Renault, exemple des PFAS dans les pièces des voitures

Philippe ROLLAND – Direction des matériaux – Expert Substances

PFAS: International Congress on Poly & Perfluoro Alkyl Substances - Gestion des pollutions et risques sanitaires - Paris / France - 20 octobre 2022

(Version Française)

1-Le Groupe Renault

Constructeur automobile depuis 1898, le Groupe Renault est présent dans plus de 100 pays. Pour répondre aux grands défis technologiques du futur le Groupe Renault mise sur la complémentarité de ses quatre marques : Alpine, Renault, Dacia et Mobilize.

Plus de 111 000 collaborateurs dans 38 pays ont pour mission commune : rendre la mobilité durable et accessible à tous, partout dans le monde. <https://www.renaultgroup.com/groupe/>

Le Groupe Renault fait partie de l'Alliance Renault-Nissan-Mitsubishi.



2-La gestion des substances par le Groupe Renault.

Depuis 30 ans, l'amélioration de la gestion des substances dans les voitures et dans les usines du Groupe Renault est une préoccupation permanente. Dès 1993, le Groupe Renault a mis en place une norme qui a interdit de nombreuses substances. L'utilisation des « CMR » sera ensuite rapidement interdit dans ses usines.

En 2009, Renault a décidé d'anticiper l'interdiction des substances SVHC de la réglementation REACH, en interdisant leur utilisation dans les nouvelles voitures à chaque fois qu'une solution de remplacement existe.

Aujourd'hui, Renault recense les substances présentes dans toutes les pièces et voitures qu'il fabrique, pour les remplacer par une solution meilleure pour la santé et l'environnement sur les nouveaux modèles de voitures.

3- Les règlementations substances

A travers le monde, les règlementations sur les substances sont de plus en plus nombreuses. Ce sont néanmoins les réglementations Européennes qui conservent le leadership.

Pour cette présentation, nous avons sélectionné les trois réglementations qui couvrent la grande majorité des substances réglementées de par le monde. Ce sont le règlement « REACH » 1907/2006 - réglementation Européenne majeure sur les substances - la directive sur la recyclabilité des véhicules hors d'usages 2000/53 appelé « VHU », qui réglemente aussi la présence de métaux lourds dont le Plomb, et le règlement sur les polluants organiques persistants 2019/2021 qui est la traduction en droit Européen de la convention de Stockholm.

Nous évoquerons aussi la règlement « CLP » N°1272/2008, qui classe les substances en fonction de leur toxicité.

Le règlement REACH identifie aujourd’hui 224 substances of very high concern ou « SVHC » et en interdit 59 selon le mécanisme dit de « l’autorisation ». Ces substances sont interdites mais une autorisation pour une utilisation peut être accordée sur demande de chaque industriel concerné.

Un autre mécanisme de REACH, la restriction, permet aussi de réglementer plus de 1500 substances. Avec des obligations qui sont très variables d’une restriction à l’autre. La réglementation à venir sur les PFAS se fera selon ce mécanisme de restriction.

4-Le Green Deal Européen

La volonté politique européenne de neutralité carbone en 2050, appelée « green Deal », comporte un important volet sur les substances. Il s’agit de la stratégie pour des produits chimiques durables « CSS ». L’objectif de cette stratégie peut être parfaitement résumé par une phrase de Carlo Petinelli, directeur de la DG Grow de la commission Européenne. « should some hazardous chemicals still be needed, then risks would need to be carefully assessed and managed! »

Le CSS a l’ambition de réglementer de façon beaucoup plus simple et rapide toutes les substances toxiques. Pour ce faire, CLP et REACH sont en révision. De nouvelles classes de danger apparaîtront rapidement dans CLP, permettant ainsi d’identifier des catégories de substances nouvelles comme les perturbateurs endocriniens ou les substances persistantes et mobiles. La grande famille des PFAS qui comporte 12 000 substances sera prise comme exemple concret de la nouvelle façon de réglementer rapidement. 120 autres familles de substances sont en cours d’étude dans le cadre du processus « REACH-ARN » et sont publiées progressivement au cours de l’année 2022 <https://echa.europa.eu/fr/assessment-regulatory-needs>. En conséquence, un nombre nettement plus élevé d’interdictions de substances pourrait donc arriver à partir de 2026 environ.

La directive sur les véhicules hors d’usages réglemente toutes les substances contenant un des quatre métaux lourds. Le Cadmium Mercure et Chrome VI ont été éliminés. Le Plomb a lui aussi été largement remplacé. Certains usages non remplaçables restent encore autorisés, comme par exemple les batteries de démarrage au Plomb.

Enfin le règlement POP interdit des substances ou familles de substances très persistantes dans l’environnement. Il a d’abord visé des pesticides, puis des retardateurs de flamme bromés, et maintenant des additifs anti UV utilisés dans les plastiques, et plusieurs familles de substances fluorées. Parmi les fluorées, les PFOS ont été visés dès 2009, puis les PFOA en 2020, et probablement bientôt seront visés les PFHxS, les PFCA et les PFHxA.

Les principales obligations et conséquences de ces réglementations pour un Groupe comme le Groupe Renault sont :

- 1- Ne plus utiliser de substances POP, ni de substances REACH « soumises à autorisation », respecter toutes les restrictions de REACH et de VHU
- 2- Déclarer les substances REACH-SVHC selon l’Article 33 de REACH et dans la base de données « SCIP »

5-La politique substances du Groupe Renault, et les outils qui permettent de l’appliquer

Le Groupe Renault a mis en place une politique substances qui a 3 caractéristiques

- 1- Mondiale, elle s’applique de la même façon partout dans le monde

- 2- Anticipative, elle interdit les substances dans les nouveaux projets véhicule, 7 ans les interdictions réglementaires, dans la mesure où une solution de remplacement existe
- 3- Processus de substitution traçable lorsque la substitution nécessite plus de temps pour être remplacée.

L'impact socio-économique pour le Groupe Renault de la disparition de chaque substance est déterminé par la combinaison de 3 facteurs : le nombre de pièces concernées, l'existence de solutions de substitution, la possibilité technique & économique de les mettre en œuvre dans un délai adapté.

Le Groupe Renault a donc besoin que l'ensemble acteurs de sa chaîne d'approvisionnement soient organisés par rapport au remplacement des substances problématiques. Le Groupe Renault s'est donc organisé depuis longtemps pour assurer la traçabilité des substances utilisées dans les pièces des voitures.

Dès 2005, le Groupe Renault a décidé de répondre au premier enjeu qui est de savoir quelle substance est présente dans quelle pièce, et est devenu membre du système IMDS (International Material Data System). IMDS est un outil informatique puissant qui offre la possibilité aux 100 000 entreprises qui travaillent pour l'industrie automobile, dans le monde entier, de déclarer les substances présentes dans chaque pièce. Ce qui permet à l'industrie automobile de disposer d'une information unique : la composition en matières et substances de chaque pièce. Lorsqu'on sait que 30 000 pièces sont conçues chaque année dans les bureaux d'études du Groupe Renault à travers le monde, et que chaque pièce est composée de dizaines de matériaux différents, on voit bien que seul, un système informatique performant, partagé par tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, permet d'accéder à l'information détaillée. IMDS a d'abord été utilisé pour le recyclage des véhicules. IMDS permet maintenant au Groupe Renault d'obtenir l'information sur le nombre de pièces contenant une substance.

IMDS (INTERNATIONAL MATERIAL DATA SYSTEM) www.mdsystem.com

- Collecte l'information **nomenclature / matière / substances**

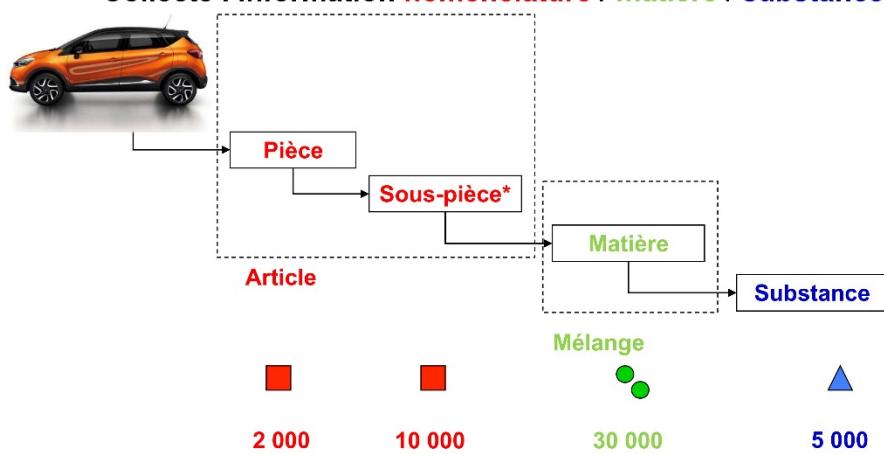


Figure 1 : maîtriser la connaissance des substances dans les pièces

Pour accéder à l'information sur l'existence de solutions de substitution, le Groupe Renault a participé dès 2009 à la création d'un consortium d'industriels français, désireux de prendre de l'avance sur le remplacement des substances les plus problématiques. Les membres de ce consortium, au nombre de 12 aujourd'hui, mandatent le CETIM (Centre technique des industries de la mécanique) pour réaliser des études sur des substances réglementées à travers le monde, et réalise des synthèses sur les solutions de substitution des plus problématiques. Les solutions les meilleures pour la santé et pour l'environnement sont identifiées. Ce sont généralement aussi

les solutions dont la pérennité sera la meilleure. Le degré de maturité industrielle de ces solutions, c'est-à-dire savoir si la solution est à l'état d'étude de laboratoire ou de brevet, ou au stade de la pré-industrialisation sur une installation pilote, ou bien est déjà industrielle et utilisée en grande série par de nombreuses entreprises, est bien évidemment un facteur essentiel. Ces études permettent de décider quel sera le bon moment pour remplacer une substance problématique. Le Groupe Renault choisit alors des solutions de substitution existantes et adaptées aux performances fonctionnelles spécifiques de l'automobile, comme par exemple la tenue sur une large plage de températures, et la sécurité des passagers, pendant une durée d'utilisation de plus de 10 ans. La sélection de solutions de remplacement se traduit par des fiches de synthèse par substance.

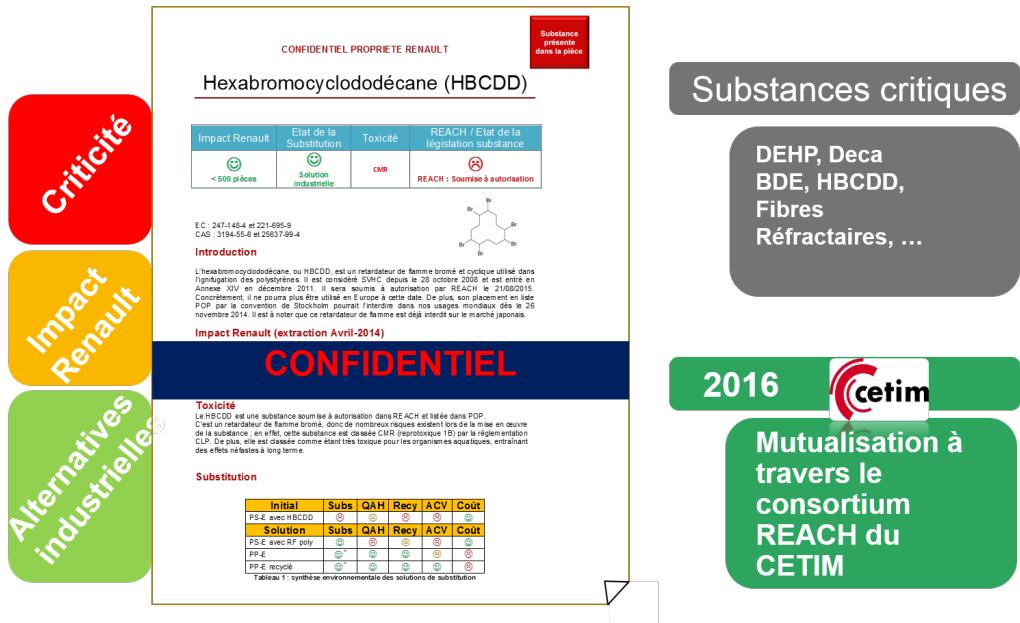


Figure 2 : Fiche de synthèse substance, à destination des concepteurs du Groupe Renault.

Une fois l'existence de solutions connues, le Groupe Renault valide en laboratoire la solution la mieux adaptée. La durée type de ces validations laboratoire est de 2 ans. Le déploiement peut donc ensuite commencer. Le plus efficace est bien de profiter d'un nouveau projet de voiture pour y intégrer cette nouvelle solution. La validation de cette solution sera alors intégrée au plan de tests de la nouvelle voiture. A la fois cette validation sera complète, et elle ne demandera pas ou peu d'essais spécifiques. Par contre, cette façon de procéder demande d'avoir le temps nécessaire, c'est-à-dire 3 à 5 ans.

C'est pour cela que le Groupe Renault a décidé d'anticiper de 7 ans les interdictions dans les nouvelles voitures.

Le Groupe Renault travaille aussi avec d'autres constructeurs automobiles et avec sa chaîne d'approvisionnement automobile à travers la plateforme automobile en France et l'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles en Europe (ACEA), avec la fédération des fournisseurs de l'automobile (CLEPA), ainsi qu'avec plusieurs fédérations professionnelles dans les domaines des polymères, des élastomères, et bien sûr de la mécanique.

6-Les PFAS :

6.1 la réglementation des PFAS

Les PFAS sont en train d'être visés réglementairement dans leur globalité à la fois en Europe et dans plusieurs états des Etats Unis. En Europe, c'est le règlement REACH qui sera l'outil

règlementaire. Le texte de la restriction n'est pas encore disponible, il devrait être connu début 2023. Il semble que la proposition sera d'interdire globalement 12000 PFAS, sauf pour les couples (substance, usage) pour lesquels l'industrie a montré que l'usage est essentiel pour la société. La notion d'usage essentiel devra être clairement définie pour être applicable.

6.2 approche opérationnelle simplifiée

On peut diviser la famille des PFAS en 3 grandes catégories :

1. Les Polymères et élastomères fluorés
2. Les PFAS « à chaîne courte » utilisés par exemple pour fabriquer les polymères fluorés, ou pour les mettre en œuvre
3. Les gaz fluorés.

6.3-tracabilité des PFAS

Le système IMDS permet une bonne traçabilité de la première catégorie, les polymères fluorés

Pour les 2 autres catégories la traçabilité est partielle.

Ceci est dû au fait que la décision des autorités de réglementer tous les PFAS est récente, Et au fait que l'immense majorité des PFAS sont absents de la liste candidate REACH. Donc leur reporting n'est pas obligatoire. C'est un handicap majeur pour identifier les matières et les pièces automobiles dans lesquels les PFAS pourraient se trouver.

L'industrie automobile Française et Européenne s'est donc regroupée pour étudier très concrètement pourquoi des PFAS sont utilisés et dans quelle mesure l'interdiction de tout ou partie des PFAS serait possible. Ces études se font sur un nombre limité de pièces ou applications représentatives.

Il est important de rappeler à ce stade que la majorité des polymères fluorés, comme le Teflon par exemple, ou les élastomères tels que le FKM, sont essentiels dans de nombreux usages industriels. Par exemple la transition énergétique nécessitera des batteries ou les piles à combustible dont la fabrication requiert des polymères fluorés.

Résumé de nos principaux défis :

- Nous devons mieux savoir où les PFAS sont exactement utilisés dans notre chaîne d'approvisionnement, pourquoi, combien et en quelle quantité.
- Ensuite, nous serons probablement en mesure de définir quelles utilisations sont essentielles.
- D'après nos connaissances limitées actuelles, nous comprenons que la restriction des PFAS constitue un défi majeur pour nos activités européennes.

7-Conclusion :

La politique substance du Groupe Renault s'applique de la même façon dans le monde, elle interdit les substances avec 7 ans d'avance pour les pièces des nouvelles voitures, et manage la traçabilité et la substitution

Pour les PFAS, plusieurs familles sont déjà interdites ou en cours d'interdiction. Mais la rapidité d'interdiction de la totalité des PFAS, sans qu'ils soient passés par la « case » REACH-SVHC, altère la traçabilité et ne permet pas toute l'anticipation qui aurait été nécessaire pour préparer la substitution dans l'industrie automobile.

The PFAS contamination to aquifers of central Veneto Region: assessing the risk and acting for solutions

Paolo Ronco - Centro RIVE, Center for Water Resources of Veneto by VIACQUA spa

ABSTRACT

In 2013, a survey study undertook by the Italian National Research Council (IRSA-CNR), triggered by the outcomes of the European PERFORCE project, revealed the high presence of perfluoro-alkyl substances (PFAS) in the waters and sediments of some very populated river basins of the North-East Italy. In particular, most of the water coming from aquifers in the Agno-Fratta Gorzone basin showed increasing concentrations of sum of PFAS well above 30.000 ng/l. The main source of contamination was identified in the Province of Vicenza, where a chemical plant was producing PFAS compounds since the early '60, mainly for the local leather industry district. The contaminated area includes 30 Municipalities, with 140.000 people directly exposed to the PFAS pollution mainly from the drinking water.

As consequences, several actions had been implemented by Regional and Central Authorities (Health and Environmental), in coordination with Water Utilities, in order to control the diffusion of the contamination and to protect human health by substantially decreasing PFAS concentration in drinking water. The National Institute of Health (ISS), immediately recommended the need and urgency to adopt measures aimed to risk mitigation, prevention and control extended to the whole water supply chain. Water Utilities immediately went for the restraint of water contamination and the installation of active carbon filters to the water supply systems.

After the implementation of immediate mitigation measures, ISS recommended extensive PFAS risk assessments, referred to the specific local circumstances, environmental contamination, and possible exposure of population. The conclusions, based on precautionary principle, recommended short-medium and long-term actions to achieve the virtual absence of PFAS at the tap. Meanwhile, provisional treatment performance limits for PFOS, PFOA and the "sum of other PFAS"¹ were recommended for drinking water (0.03, 0.5 and 0.5 µg/L respectively).

At the same time, Regional Health Institutions initiated one of the worldwide largest biomonitoring survey targeting more than 90.000 people in the area to assess the potential toxicological and epidemiological links between exposure of PFAS compounds and diseases, representing an early warning to diagnosis and identifying specific care needs. 4 years later in 2020-21, about 4200 individuals who participated in the health surveillance program were being invited to repeat the visit and the lab tests, including serum PFAS. A marked decrease of serum PFAS was observed and it was by far more pronounced for PFOA, the main contaminant detected in drinking water. These biomonitoring data confirm the effectiveness of measures undertaken to reduce exposure through drinking water.

Environmental Authorities with local experts undertook a wider monitoring campaign and modelling exercise to track the spatial evolution of the contamination plume, also considering previous contamination events, in 1977 by BTF, that probably represents a bridge of conjunction with the recent emissive situation. Moreover, through a strict cooperation between Water Utilities, the ISS and the Regional Authorities a first Water Safety Plan (WSP) was implemented to actively manage the risks related to the presence of PFAS and other compounds of emerging concern in drinking water, representing a pilot case study and reference for replication at national scale. Long-term risk mitigation measures included a large (to date: more than 100 million Euro) infrastructures investment program to bring safe water to contaminated communities: new boreholes, interconnections between water distribution systems, treatment plants, etc. Finally, a new LIFE project named CAPTURE, partnered by VIACQUA, has been recently launched to explore and develop novel analytical protocols for PFAS contamination with technologies for sustainable remediation.

The case of the PFAS contamination in the aquifers of the central Veneto Region, represents a prominent case to demonstrate the practical application of the quadrupole helix approach involving, respectively, the policy and

¹ At least including: PFBA, PFPeA, PFBS, PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFNA, PFDeA, PFUnA, PFDoA.

decision makers (at both local, regional and national level), the industry/business communities, the research/academia institutions, the media- and culture-based public and the civil society and, finally, the water utilities playing a cross-sectorial challenging role of being in charge of the overall management of the drinking water resources.

Credits:

Andrea Sottani - Sinergeo srl

Massimo Mazzola - ARPAV

Massimo Carmagnani – Acque Veronesi scarl

Gisella Pitter - Regione Veneto, Directorate of Prevention, Food Safety, and Veterinary Health

Francesca Russo - Regione Veneto, Directorate of Prevention, Food Safety, and Veterinary Health

Valentina Fuscoletti – Italian National Health Institute, Department of Environment and Health

Luca Lucentini – Italian National Health Institute, Department of Environment and Health

EXPOSITION DE LA POPULATION FRANÇAISE AUX COMPOSÉS PERFLUORES, PROGRAMME NATIONAL DE BIOSURVEILLANCE, ESTEBAN 2014-2016

Oleko A., Fillol C., Saoudi A., Zeghnoun A.

Direction santé environnement travail, Santé publique France, 12 rue du Val d'Osne, 94410 Saint Maurice

Auteur correspondant : amivi.oleko@santepubliquefrance.fr

Contexte : les composés perfluorés (PFAS) sont une large gamme de substances chimiques synthétiques utilisés depuis les années 1950 dans un grand nombre de produits industriels et de bien de consommation courants. Ils sont utilisés dans les cosmétiques, les revêtements antiadhésifs et les emballages alimentaires, comme imperméabilisants textiles, mousses anti-incendie, etc. Leurs résistances mécanique, thermique, chimique, leur persistance dans l'environnement, leur présence ubiquitaire et leur toxicité (cancérogénicité, immunotoxicité, effets sur la reproduction et la fertilité, troubles de la thyroïde, ...) en font des substances préoccupantes à surveiller. Dans le cadre du programme français de biosurveillance, l'estimation de l'exposition de la population aux PFAS a été réalisée et les principaux déterminants de l'exposition ont été recherchés à partir de l'étude Esteban.

Méthodes : Du sang a été prélevé sur un sous-échantillon aléatoire de 249 enfants (6-17 ans) et 744 adultes (18-74 ans) vivant en France continentale et inclus dans l'étude Esteban entre avril 2014 et mars 2016. Le dosage de 17 composés perfluorés (PFOA, PPFA, PFNA, PFBA, PFDA, PFHxA, PFHpA, PFUnA, PFDa, PFHpS, PFHxS, PFDS, PFBS, PFOS, PFOSA, n-EtPFOSA-AcOH, n-MePFOSA-AcOH) a été réalisé dans 2 mL de sérum par chromatographie en phase liquide couplée à de la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS).

Résultats : Les taux de quantification des PFAS étaient variables selon les congénères : 7 PFAS chez les adultes et 6 chez les enfants étaient quantifiés à plus de 40%. La moyenne géométrique et le P95 étaient chez les enfants de 1,6°µg/L et 2,8°µg/L pour le PFOA, 2,2°µg/L et 6,1°µg/L pour le PFOS. Chez les adultes ils étaient de 2,1°µg/L et 5,3°µg/L pour le PFOA, 4,0°µg/L et 13,5°µg/L pour le PFOS. La recherche des déterminants chez les adultes a montré des variations de niveaux d'imprégnation selon le sexe (PFOA, PFOS, PFHxS), l'âge (PFOA, PFHxS) et l'indice de masse corporelle (PFUnA, PFDA, PFOS, PFOA). La consommation de poissons et des produits de la mer (PFDA, PFUnA), de légumes (PFNA, PFDA, PFUnA, PFOS), l'autoconsommation d'œufs et de lait (PFNA, PFDA, PFUnA, PFOS), la fréquence d'utilisation des produits ou matériaux exposants aux PFAS pendant les travaux de loisirs ou de bricolage (PFNA), la plus faible fréquence d'aération du logement au printemps et en été (PFNA, PFDA, PFOAS) entraînaient une augmentation des niveaux d'imprégnation par les PFAS.

Conclusion : Esteban est la première étude nationale à mesurer les niveaux d'exposition aux PFAS de la population française. Les résultats ont mis en lumière une exposition généralisée à plusieurs PFAS, la contamination de la chaîne alimentaire et une persistance dans l'environnement malgré la restriction d'usage de certains.

EXPOSURE OF THE FRENCH POPULATION TO PERFLUORINATED COMPOUNDS, NATIONAL BIOMONITORING PROGRAM, ESTEBAN 2014-2016

Oleko A., Fillol C., Saoudi A., Zeghnoun A.

Direction santé environnement travail, Santé publique France, 12 rue du Val d'Osne, 94410 Saint Maurice

Corresponding author: amivi.oleko@santepubliquefrance.fr

Background: Perfluorinated compounds (PFAS) are a wide range of synthetic chemicals that have been used since the 1950s in a large number of industrial products and common consumer goods. They are used in cosmetics, non-stick coatings and food packaging, as textile waterproofing agents, fire-fighting foams, etc. Their mechanical, thermal and chemical resistance, their persistence in the environment, their ubiquitous presence and their toxicity (carcinogenicity, immunotoxicity, effects on reproduction and fertility, thyroid disorders, etc.) make them substances of concern to be monitored. Within the framework of the French biomonitoring program, the estimation of the exposure of the population to PFAS has been carried out and the main determinants of exposure have been researched from the Esteban study.

Methods: Blood was collected from a random sub-sample of 249 children (6-17 years) and 744 adults (18-74 years) living in mainland France and included in the Esteban study between April 2014 and March 2016. The determination of 17 perfluorinated compounds (PFOA, PFPA, PFNA, PFBA, PFDA, PFHxA, PFHpA, PFUnA, PFDoA, PFHpS, PFHxS, PFDS, PFBS, PFOS, PFOSA, n-EtPFOSA-AcOH, n-MePFOSA-AcOH) was carried out in 2 mL of serum by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS).

Results: The quantification rates of PFAS were variable according to the congeners: seven PFAS in adults and six in children were quantified at more than 40%. The geometric means and P95 values for children were $1.6^{\circ}\mu\text{g/L}$ and $2.8^{\circ}\mu\text{g/L}$ for PFOA, $2.2^{\circ}\mu\text{g/L}$ and $6.1^{\circ}\mu\text{g/L}$ for PFOS. In adults, they were $2.1^{\circ}\mu\text{g/L}$ and $5.3^{\circ}\mu\text{g/L}$ for PFOA, $4.0^{\circ}\mu\text{g/L}$ and $13.6^{\circ}\mu\text{g/L}$ for PFOS. The investigation of determinants in adults showed variations in impregnation levels according to sex (PFOA, PFOS, PFHxS), age (PFOA, PFHxS) and body mass index (PFUnA, PFDA, PFOS, PFOA). Fish and seafood consumption (PFDA, PFUnA), vegetable consumption (PFNA, PFDA, PFUnA, PFOS), self-consumption of eggs and milk (PFNA, PFDA, PFUnA, PFOS), the frequency of use of products or materials exposing to PFAS during leisure or DIY work (PFNA), the lower frequency of ventilation of the dwelling in spring and summer (PFNA, PFDA, PFOA) led to an increase in PFAS impregnation levels.

Conclusion: Esteban is the first national study to measure PFAS exposure levels in the French population. The results highlighted widespread exposure to several PFAS, contamination of the food chain and persistence in the environment despite the restriction of use of some.

Establishing a zero-pollution Circular Economy: An overview of the H2020 project PROMICES, including PFAS

Julie Lions & Corinne Merly – BRGM (France)

Pierre Boucard – INERIS (France)

Corresponding author: j.lions@brgm.fr

The PROMICES project aims to understand the origins, routes and fates of industrial Persistent, Mobile and potentially Toxic pollutants (iPM(T)s), including per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). These substances, also called “forever chemicals”, can be harmful to human health and resources quality for their whole use/management cycle. The project addresses key technological challenges while also developing recommendations for implementing relevant EU plans - such as the Zero Pollution Action Plan, the Circular Economy Action Plan and the EU chemicals strategy for sustainability - and EU policy directives, such as the Sewage Sludge Directive and the Water Framework Directive.

PROMICES supports the European Green Deal goals and sustainability roadmap of urbanised areas by reducing the environmental impacts on waters (surface and groundwater, urban water runoff, drinking water, wastewater, landfill leachate), soils (contaminated sites, brownfields) and of nutrient and material recovery (from sewage sludge to recovered fertilisers, dredged sediments to valorised materials, reclaimed water to crops).

This Horizon2020 project funded within the EU Green Deal call¹ develops, tests and demonstrates, new technologies and innovations to prevent, monitor and remediate PFASs in the soil-sediment-water system under real-life and field conditions. This project aims to identify critical issues and potential solutions in five different circular economy routes: (i) Semi-closed water cycle for drinking water supply, (ii) Wastewater reuse for agricultural irrigation, (iii) Nutrient and energy recovery from treated sludge for fertilizers, (iv) Material recovery from dredged sediment for eco-materials and (v) Groundwater and soil remediation to protect the water cycle.

In addition to the technical developments, PROMICES is also currently designing a Decision Support Framework (DSF). The DSF aims to promote the transfer of novel knowledge on PM substances into environmental management practices and to support policy.

In order to design a meaningful and useful DSF, an online survey was launched in June 2022 in order to understand demands and expectations from a wide range of stakeholders, including resources managers, industries, technology providers, governmental bodies and research institutions. During this presentation, survey feedback will be communicated in an interactive way.

¹ The research leading to these results has received funding from the European Union H2020 Programme (H2020/2014-2020) under grant agreement n° 101036449



intersol'2023

Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau
International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

Le sol : un tremplin pour la transition des territoires

- Management durable des sols
- Diagnostic et traitement des polluants dans les sols
- Planification territoriale et reconversion de sites
- Biodiversité et risques environnementaux • Actualités réglementaires et juridiques
- Session spéciale : jeunes chercheurs, créateurs d'innovation, startups

Soil: a springboard for the transition of territories

- Sustainable soil management
- Diagnosis and treatment of pollutants in soils
- Territorial planning and conversion of sites
- Biodiversity and environmental risks • Regulatory and legal news
- Special session: young researchers, creators of innovation, startups

Appel à communications / Call for papers

Deadline: December 12, 2022

www.intersol.fr

28, 29 & 30 mars 2023 – Lille, France

Entreprises / Companies (2022)



Institutionnels / Institutions (2022)





World Event Business Solutions

18, rue Jules César - 78420 Carrières-sur-Seine - France
Tél. : +33 (0)1 39 68 26 08
E-mail : contact@webs-event.com
www.webs-event.com