

Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) dans l'environnement

Fiche info

Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) forment un groupe de plusieurs milliers de produits chimiques utilisés dans de nombreux procédés industriels et produits de consommation tels que les revêtements anti adhésifs et les mousses ignifuges. Très stables dans l'environnement, les PFAS sont déjà détectables presque partout chez les êtres vivants et dans le milieu naturel, ce qui est très inquiétant car elles sont en partie toxiques et peuvent s'accumuler dans les animaux sauvages et les êtres humains. Les plus connus sont l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) (Fig. 1). L'utilisation du PFOS et du PFOA est désormais largement interdite. Toutefois, ces deux composés ont souvent été remplacés par des polymères fluorés et des PFAS à chaîne plus courte, dont le comportement est moins bien connu.

Structure et usages

Les PFAS sont des composés constitués de chaînes carbonées de différentes longueurs, dont les atomes d'hydrogène sont entièrement (composés perfluorés) ou partiellement (composés polyfluorés) substitués par des atomes de fluor. Souvent hydrophobes, lipophobes et résistants à la saleté, les PFAS sont également tensio-actifs et présentent une grande inertie thermique et chimique. Ces propriétés les prédestinent à des utilisations dans les revêtements et enduits protecteurs pour l'ameublement, l'habillement (vêtements de sport), les emballages alimentaires et les poêles anti adhésives, ainsi que dans les sprays d'imperméabilisation, les farts à ski, les réfrigérants, les mousses extinctrices, les pesticides et les médicaments.

Voies de rejet et comportement

Les PFAS peuvent être émis dans l'environnement au moment de leur fabrication, de leur utilisation ou de leur élimination avec les objets et eaux usées qui les contiennent. Les importantes sources sont les sites de production de polymères fluorés ainsi que leur utilisation dans les mousses extinctrices et dans de nombreux autres domaines. En raison de leurs liaisons carbone-fluor très fortes, les PFAS sont très persistants et ne se dégradent dans l'environnement, le cas échéant, qu'en d'autres PFAS tout aussi persistants. Les PFAS à chaîne longue s'adsorbent sur les matières du sol et du sédiment et s'accumulent dans les tissus organiques, tandis que les PFAS à chaîne courte sont solubles dans l'eau et très mobiles. Les PFAS peuvent donc très facilement contaminer les denrées alimentaires, les eaux de surface et souterraines ainsi que les ressources en eau potable. Certaines PFAS peuvent être transportées par l'air, d'autres sont dispersées par les courants marins. Ces substances s'accumulent ainsi même dans des régions éloignées de toute civilisation comme l'Arctique.

Présence dans l'environnement

En Europe, des PFAS ont été détectés dans les eaux souterraines et de surface, les organismes vivants, le sol et l'air [1, 2]. Les zones proches des lieux de production industrielle, des aéroports, des bases militaires et des centres d'entraînement des pompiers, où des mousses anti-incendie contenant des PFAS ont été utilisées, sont particulièrement contaminées [3, 4].

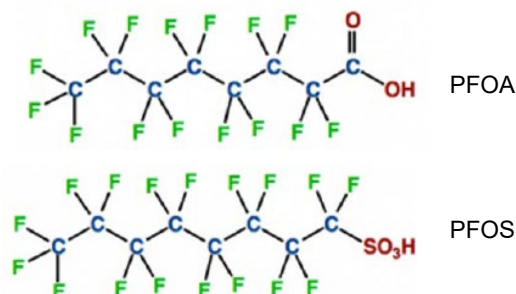


Fig. 1: Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées sont souvent utilisées dans les mousses anti-incendie. Même si l'utilisation de l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS) et de l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) ainsi que de leurs précurseurs est désormais largement interdite, ces substances sont encore régulièrement détectées dans l'environnement.

En 2021, 26 PFAS ont été détectés lors d'une étude pilote du programme NAQUA d'observation de la qualité des **eaux souterraines** en Suisse [5]. Des PFAS inclus dans cette étude ont été détectés dans près de la moitié des stations de mesure NAQUA (l'acide trifluoroacétique (TFA) n'a pas encore été pris en compte dans cette étude, voir ci-dessous pour plus d'informations). Dans environ 25 % des stations de mesure, la somme des PFAS analysés était supérieure à 0,01 microgramme par litre (µg/l), et dans environ 2 % des stations, elle était supérieure à 0,1 µg/l. Les valeurs maximales actuellement en vigueur dans l'ordonnance sur l'eau potable (voir ci-dessous) n'ont été dépassées que dans une seule des stations de mesure. Cela était dû au PFOS, dont les concentrations dépassaient la valeur maximale actuelle de 0,3 µg/l pour cette substance. Dans 15 % des stations de mesure, des concentrations supérieures à la valeur limite prévue pour les PFAS, fixée à 0,5 µg/l, ont été détectées, principalement à proximité des aéroports, des installations industrielles et des terrains d'entraînement des pompiers. Le TFA, un produit de dégradation de nombreux PFAS et très mobile, est aussi préoccupant. Selon les dernières études de l'OFEV, le TFA est présent presque partout dans les eaux souterraines [6], et les PFAS provenant des réfrigérants et des produits phytosanitaires semblent particulièrement contribuer à cette contamination.

Des PFAS ont également été détectés dans de nombreuses **eaux de surface et sédiments** en Suisse [7,8]. Il existe de nombreux **sites contaminés**, notamment les terrains d'entraînement des pompiers, les ateliers de galvanoplastie et les décharges. Les autorités fédérales évaluent en permanence l'occurrence des PFAS en Suisse et émettront des recommandations pour la procédure à suivre et l'assainissement des sites contaminés [9, 10]. Les matériaux dont la teneur en PFAS est supérieure à 5 µg/kg doivent être traités. À ce jour, en Suisse, les installations de traitement des sols sont rares.

Des PFAS sont également détectés dans les **organismes aquatiques** [11]. Le PFOS et d'autres PFAS à chaîne longue, notamment, sont bioaccumulables et se concentrent à chaque niveau de la chaîne alimentaire. En Suisse, les concentrations dans les poissons pêchés dans certaines eaux de surface sont parfois si élevées que leur consommation est interdite.

Les composés à chaîne longue déjà surveillés et réglementés ne sont responsables que d'une partie de la contamination humaine, animale et environnementale par les PFAS. Ces substances ont souvent été remplacées par des PFAS à chaîne courte et des polymères fluorés qui se retrouvent également dans le milieu naturel et sont détectables dans les eaux de surface et souterraines ainsi que dans l'eau potable [12, 13]. Ces substances s'accumulent également dans les légumes et peuvent donc être absorbées avec la nourriture [14]. Les PFAS émergents sont de plus en plus détectés dans les eaux de surface européennes [15].

Toxicité

Certains PFAS sont jugés toxiques. Les PFAS à chaîne longue ont tendance à s'accumuler dans le corps humain, les animaux, les sols et les sédiments tandis que les PFAS à chaîne courte se retrouvent dans l'eau et l'air. La toxicité des PFAS a principalement été étudiée pour les acides perfluorooctane sulfonique (PFOS) et perfluorooctanoïque (PFOA). Leurs effets sont multiples : ils dérèglent le système hormonal, perturbent le développement, agissent sur le système immunitaire et augmentent le risque de contracter certains cancers. Les substances portent atteinte à l'intégrité des membranes cellulaires et provoquent un stress oxydatif. Les effets de plusieurs substances peuvent se conjuguer et s'influencer et certains stress naturels ou chimiques peuvent accroître leur nocivité. La toxicité dans les écosystèmes aquatiques a été décrite dans plusieurs articles de synthèse [16-18].

Réglementation

En vertu de la **Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants**, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation du PFOS, du PFOA, de l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS) et des acides carboxyliques perfluorés à longue chaîne (PFCA), y compris leurs précurseurs, sont fortement restreintes ou interdites. Plusieurs autres PFAS figurent également sur la liste des substances extrêmement préoccupantes du règlement REACH.

En 2020, l'**Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)** a réévalué la toxicité des PFAS les plus importants et particulièrement dangereux, à savoir le PFOS, le PFOA, le PFHxS et l'acide perfluorononanoïque (PFNA), ce qui a conduit à une valeur limite sans danger pour l'homme nettement plus basse (TWI = dose hebdomadaire tolérable) : celle-ci est actuellement de 4,4 ng par kg de poids corporel pour la somme de ces substances [19]. L'effet déterminant pour la fixation de cette limite a été l'immunotoxicité chez les enfants, qui se traduit par une diminution de la production d'anticorps après les vaccinations standard en cas de concentrations sanguines élevées de PFAS. Les experts ont conclu qu'une partie considérable de la population européenne dépasse la TWI en raison de l'absorption de PFAS provenant des aliments et de l'eau potable. Des nouvelles données du biomonitoring en Suisse le confirment : les concentrations de PFAS dans le sang de 41 % des femmes en âge de procréer dépassent le seuil fixé par l'EFSA pour un risque possible de réponse immunitaire réduite chez les nourrissons [20].

Dans sa **directive sur l'eau potable**, l'UE a fixé des valeurs limites plus strictes pour les PFAS, qui deviendront obligatoires à partir de janvier 2026 : une valeur limite de 0,1 µg/l s'applique à la somme de 20 PFAS sélectionnés, et une valeur limite de 0,5 µg/l à la somme de tous les PFAS. **L'ordonnance suisse sur l'eau potable (OPBD)** fixe actuellement des valeurs maximales de 0,3 µg/l pour le PFOS et le PFHxS et une valeur maximale de 0,5 µg/l pour le PFOA. Selon l'OSAV, ces valeurs maximales sont en cours de révision sur la base des spécifications de l'UE et devraient être remplacées par de nouvelles valeurs en 2026.

Selon la **directive-cadre européenne sur l'eau (DCE)**, le PFOS et ses dérivés sont considérés comme des substances prioritaires et sont assortis d'une norme de qualité environnementale (NQE-MA) de 0,65 ng/l pour les expositions chroniques dans les lacs et rivières et de 0,13 ng/l pour les expositions chroniques en milieu marin. Ces composés doivent donc faire l'objet d'une surveillance régulière dans le milieu aquatique. En 2013, des échantillons ont été prélevés dans le Nord de l'Europe et les NQE étaient dépassées dans 27 % des bassins fluviaux et 94 % des sites marins étudiés [21]. L'UE a également proposé une NQE totale de 0,0044 µg/l d'équivalents PFOA pour les eaux de surface pour 25 PFAS. Cette valeur est basée sur la protection de la santé humaine, car les effets sur le système immunitaire humain sont jugés comme étant les plus critiques, et est exprimée par rapport à l'effet du PFOA comme substance de référence. Pour les eaux souterraines, une valeur limite de 0,0044 µg/l (4,4 ng/l) pour la somme des 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS et PFNA) a été proposée à l'échelle de l'UE. Cette valeur est aussi basée sur l'évaluation toxicologique humaine de l'EFSA. En outre, la valeur limite totale fixée par la directive européenne sur l'eau potable pour les PFAS doit également être respectée. La DCE fixe par ailleurs une limite de 9,1 µg/kg de poids frais pour le PFOS dans la chair des poissons afin de protéger les consommateurs et les animaux prédateurs d'une toxicité indirecte potentielle. Là encore, l'UE prévoit de fixer une nouvelle valeur totale pour 25 PFAS (0,077 µg/kg de poids humide).

Depuis début 2024, de nouvelles teneurs maximales obligatoires s'appliquent en Suisse pour les principaux **PFAS présents dans les denrées alimentaires** telles que la viande, le poisson, les œufs, les crustacés et les mollusques. Ces teneurs maximales sont conformes aux prescriptions de l'UE de 2023. Pour la somme des quatre principaux PFAS (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS) dans les filets de poisson, les nouvelles valeurs maximales varient entre 2 et 35 µg/kg de chair musculaire selon l'espèce. Ces différences tiennent compte de la contamination variable des différentes espèces

de poissons. Des échantillons de poissons pêchés et des publications scientifiques [22] montrent que les valeurs maximales sont parfois dépassées en Suisse.

Dans le canton de Saint-Gall, des contrôles ont révélé des teneurs élevées en PFAS dans la viande et le lait. Les PFAS ont pénétré la chaîne alimentaire par l'intermédiaire de l'eau de source et des plantes contaminées et se sont accumulés dans les animaux d'élevage. Les valeurs limites légales ont ainsi été dépassées dans la viande et, dans certains cas, dans le lait (valeur limite proposée). L'évaluation des PFAS devrait s'appuyer sur l'approche « One Health » : ce n'est qu'en tenant compte de tous les compartiments et cycles environnementaux exposés qu'il est possible de saisir les interactions complexes entre l'homme, l'animal et l'environnement et de protéger leur santé de manière globale.

Perspectives

En Suisse, des propositions de nouvelles valeurs limites pour les PFAS sont en cours d'élaboration pour différents milieux, conformément à la motion Maret.

À partir de 2026, des restrictions importantes sur l'utilisation de certains PFAS entreront progressivement en vigueur dans l'UE : l'utilisation de l'acide perfluorohexanoïque (PFHxA) et de substances apparentées sera largement interdite, et l'utilisation des PFAS dans les mousses extinctrices sera fortement limitée.

Au printemps 2023, l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) a publié une proposition visant à restreindre largement tous les PFAS dans l'UE. Celle-ci est en cours d'examen et pourrait entrer en vigueur à partir de 2026/2027. L'objectif de la proposition est d'interdire ou de limiter fortement la production, l'utilisation et la mise sur le marché de presque tous les PFAS. On examine actuellement quelles applications des PFAS sont indispensables dans les différents domaines d'utilisation et qui ne peuvent être remplacées par d'autres substances.

Références bibliographiques

- [1] Brunn, H., Arnold, G., Körner, W. et al. (2023) PFAS: forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. *Environmental Sciences Europe* 35, 20 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>.
- [2] PFAS pollution in European waters, EEA Briefing Briefing no. 19/2024, https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/pfas-pollution-in-european-waters?utm_source=chatgpt.com&activeTab=4bef7e95-a0ad-494d-beb7-cc4d1c879431
- [3] Hu, X.C., Andrews, D.Q., Lindstrom, A.B., Bruton, T.A., Schaider, L.A., Grandjean, P., Lohmann, R., Carignan, C.C., Blum, A., Balan, S.A., Higgins, C.P., Sunderland, E.M. (2016) Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants, *Environmental Science & Technology Letters* 3, 344-350
- [4] IPEN, 2018, Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF), Independent Expert Panel Convened by IPEN Stockholm Convention POPRC-14 Rome.
- [5] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/eaux-souterraines/qualite-des-eaux-souterraines/pfas-dans-les-eaux-souterraines.html>
- [6] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/eaux-souterraines/qualite-des-eaux-souterraines/tfa-im-grundwasser.html>

- [7] https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/fachinfo-daten/nawa-pfas-oberflaechengewaesser-2021.pdf.download.pdf/Tabelle_PFAS_OW_2023_FR.pdf
- [8] Casado-Martinez, C., Pascariello, S., Polesello, S., Valsecchi, S., Babut, M., Ferrari, B.J.D. (2021) Cadre d'évaluation de la qualité des sédiments pour les substances per- et polyfluoroalkylées : résultats d'une étude préparatoire et implications réglementaires. Évaluation et gestion environnementales intégrées
- [9] Bases décisionnelles pour l'exécution sur les sites contaminés par des PFAS en Suisse (2021). Étude commandée par l'OFEV <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/altlasten/externe-studien-berichte/expertenbericht-pfas.pdf.download.pdf/entscheidungsgrundlagen-vollzug-PFAS-belastete-standorte.pdf>
- [10] Projet PFAS dans le domaine des sites contaminés et des déchets : solutions pour la gestion des sites contaminés par des PFAS. Rapport sur les résultats des groupes de travail sur les sites contaminés et les déchets OFEV-cantons 2022/2023 (2024) Sur mandat de l'OFEV https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/altlasten/externe-studien-berichte/projekt-pfas-im-bereich-altlasten-und-abfall-loesungsansaeetze-fuer-den-umgang-mit-pfas-belasteten-standorten.pdf.download.pdf/Ergebnisbericht_Projekt_PFAS_fr.pdf
- [11] Houde, M., De Silva, A.O., Muir, D.C.G., Letcher, R.J., 2011. Monitoring of perfluorinated compounds in aquatic biota: an updated review. Environ. Sci. Technol. 45 (19),7962–7973.
- [12] Gebbink, W.A., van Asseldonk, L., van Leeuwen, S.P.J. (2017) Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands, Environmental Science & Technology 51, 11057-11065
- [13] Sun, M., Arevalo, E., Strynar, M., Lindstrom, A., Richardson, M., Kearns, B., Pickett, A., Smith, C., Knappe, D.R.U. (2016) Legacy and Emerging Perfluoroalkyl Substances Are Important Drinking Water Contaminants in the Cape Fear River Watershed of North Carolina, Environmental Science & Technology Letters 3, 415-419
- [14] Ghisi, R., Vameralia, T., Manzetti, S. (2019) Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review, Environmental Research 169, 326-341
- [15] Xiao, F. (2017) Emerging poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review of current literature, Water Research 124, 482-495
- [16] Giesy, J.P., Naile, J.E., Khim, J.S., Jones, K.C., Newsted, J.L (2010) Aquatic toxicology of perfluorinated chemicals. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 202, 1–52
- [17] Ding G, Peijnenburg WJGM. 2013. Physicochemical properties and aquatic toxicity of poly- and perfluorinated compounds. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 43, 598–678
- [18] Ahrens, L. and Bundschuh, M. (2014) Fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review. Environmental Toxicology and Chemistry, 33, 1921–1929
- [19] EFSA, 2018, Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food, <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>
- [20] Jaus, A., Fragnière Rime, C., Riou, J., Brüscheweiler, B. J. Bochud, M., von Goetz, N. (2025) Serum biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the adult population of Switzerland: Results from the pilot phase of the Swiss health study. Environment International 198, 109382
- [21] Nguyen, M. A., Wiberg, K., Ribeli, E., Josefsson, S. Futter, M., Gustavsson, J., Ahrens, L. (2017) Spatial distribution and source tracing of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in surface water in Northern Europe, Environmental Pollution 220, 1438-1446
- [22] Valsecchi et al. (2021) Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Fish from European Lakes: Current Contamination Status, Sources, and Perspectives for Monitoring, Environmental Toxicology and Chemistry—Volume 40, Number 3—pp. 658–676 (<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/etc.4815>).

Aperçu de la situation en Suisse en 2024 : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/altlasten/fachinfo-daten/symposium_2024_praesentationen.pdf.download.pdf/Symposium%202024%20Pr%C3%A4sentationen.pdf ; <https://cercleau.ch/fr/mediathek/conference-2024-pfas-des-produits-chimiques-eternels-dans-nos-eaux/>

Personnes à contacter

Dr. Marion Junghans, marion.junghans@oekotoxzentrum.ch, +41 58 765 5401
 Dr. Alexandra Kroll, alexandra.kroll@oekotoxzentrum.ch, +41 58 765 5487
 Dr. Anke Schäfer, anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch, +41 58 765 5436

Version révisée, octobre 2025