

## Décryptage

# LES SUBSTANCES PER- ET POLYFLUOROALKYLÉES (PFAS) : ENJEUX EN SANTÉ AU TRAVAIL

Les substances per- et polyfluoroalkylées, connues sous l'acronyme Pfas, sont fabriquées et utilisées depuis la fin des années 1940 notamment pour leurs propriétés antiadhésives, ignifuges, antitaches, etc., dans une myriade de secteurs d'activité (la chimie, la cosmétique, le textile, l'emballage...). De nombreux salariés sont ainsi exposés à ces composés chimiques fluorés de synthèse tout au long de leur cycle de vie, depuis leur production jusqu'à leur élimination. Or, plusieurs Pfas sont susceptibles d'induire des effets néfastes sur la santé. Il convient donc de mettre en œuvre, dans toutes les entreprises concernées par les Pfas, une démarche de prévention visant à supprimer les risques ou, à défaut, à limiter l'exposition des travailleurs, notamment celle des femmes et hommes en âge de procréer, à un niveau aussi bas que techniquement possible.

**PER- AND POLYFLUOROAKYL SUBSTANCES (PFAS): OCCUPATIONAL HEALTH CHALLENGES** -Per- and polyfluoroalkyl substances, known by their acronym Pfas, have been manufactured and used since the end of the 1940s, for their anti-adhesive, fire- and stain-repellent properties, across a wide range of activity sectors (chemistry, cosmetics, textile, packaging, etc.). Consequently, large numbers of workers are exposed to these synthetic fluorinated chemical compounds throughout their life-cycle, from their production to their disposal. However, several Pfas can induce negative effects on health. It is therefore relevant, in all companies where Pfas are used or manufactured, to implement a prevention approach aiming to eliminate risks, or if that is not possible, to limit worker exposure to these substances to levels that are as low as possible. Risk minimisation is particularly important for women and men of reproductive age.

MYRIAM  
RICAUD  
INRS,  
département  
Expertise  
et conseil  
technique

### Bref historique de la problématique

La découverte des substances per- et polyfluoroalkylées, connues sous l'acronyme Pfas (*per- and polyfluoroalkyl substances*), remonte à la fin des années 1940. En 1938, Roy Plunket, un chimiste américain de l'entreprise DuPont de Nemours, synthétise par hasard le polytétrafluoroéthylène (PTFE, secondairement commercialisé sous la marque Teflon). Cette découverte fortuite, qui marque le début de l'essor des composés organofluorés de synthèse, se poursuit avec le développement par l'entreprise 3M, dans les années 1960, d'une mousse filmogène aqueuse utilisée pour l'extinction des incendies.

La liaison chimique carbone-fluor, qui caractérise ces substances, compte parmi les plus stables

chimiquement et thermiquement. Elle confère aux Pfas des caractéristiques très recherchées par l'industrie. L'utilisation des Pfas s'accroît ainsi fortement entre 1950 et 1970 et s'étend à de très nombreux produits de consommation, tels que les emballages alimentaires, les produits phytopharmaceutiques et cosmétiques, les lubrifiants ou encore les textiles.

La fin des années 1960 voit apparaître les premières études et inquiétudes concernant des effets des Pfas sur l'environnement et sur la santé humaine. Néanmoins, l'utilisation large et variée de ces substances chimiques se poursuit, et combinée à leur caractère très stable et donc persistant, conduit à une contamination de tous les compartiments environnementaux (les eaux, l'air, les sols





© Gaël Kerbaol / INRS / 2014

Application de peinture contenant des Pfas (tels que du PFHxA).

et les sédiments). Cette pollution est constatée autour des sites industriels producteurs ou utilisateurs de Pfas ou de produits en contenant (Cf. Focus pp. 16-18), mais également au-delà, ces substances étant par ailleurs très mobiles (contamination sur de longues distances). Les Pfas peuvent ainsi diffuser, puis rester dans l'environnement pendant des décennies, voire des siècles, ce qui fait que ces substances sont parfois qualifiées de « polluants éternels ». Une fois dans l'environnement, les Pfas ont par ailleurs tendance à s'accumuler dans les végétaux. Cette bioaccumulation est également

retrouvée chez les animaux et les humains. À partir des années 2000, plusieurs pays commencent à réglementer, voire à interdire certains Pfas.

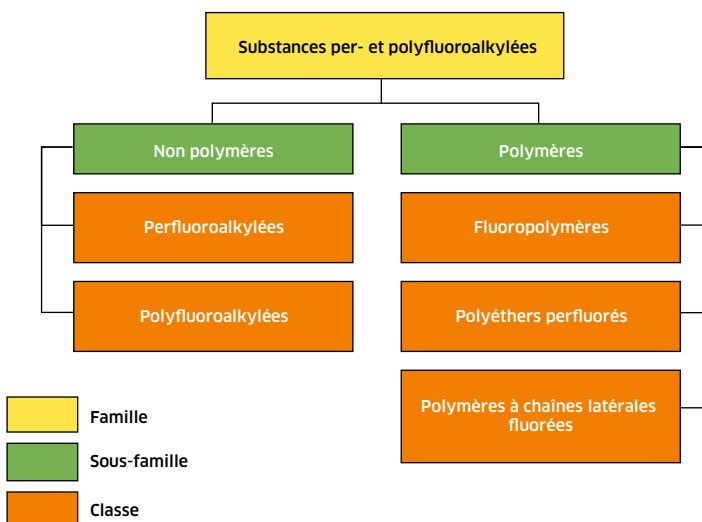
### Les substances per- et polyfluoroalkylées

Les Pfas forment une vaste famille de composés chimiques organiques fluorés de synthèse (plusieurs milliers de substances). Leur formule chimique générale est  $C_nF_{2n+1}-R$ . Le nombre de Pfas répertoriés varie en fonction de la définition retenue. Il n'existe pas, dans la littérature, de définition harmonisée des Pfas; les débats se poursuivent entre les différentes parties prenantes (scientifiques, industriels, politiques, ONG...). En 2021, l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) a publié un rapport axé sur la terminologie des Pfas [1]. Elle propose, en se basant sur des travaux antérieurs [2-3], une définition qui mentionne que les Pfas sont « des substances fluorées qui contiennent au moins un groupe méthyle ou méthylène entièrement fluoré (sans atome H, Cl, Br, I attaché) c'est-à-dire à quelques exceptions près, toute substance chimique contenant au moins un groupe méthyle perfluoré ( $-CF_3$ ) ou un groupe méthylène perfluoré ( $-CF_2-$ ) » [1].

Les Pfas sont ainsi constitués d'une chaîne d'atomes de carbone plus ou moins longue, linéaire, ramifiée ou cyclique, contenant au moins un groupe méthyle perfluoré ( $-CF_3$ ) ou un groupe méthylène perfluoré ( $-CF_2-$ ). À ce squelette fluorocarboné, peuvent s'ajouter différents groupes fonctionnels tels que des acides carboxyliques ( $-COOH$ ), des carboxylates ( $-COO-$ ), des acides sulfoniques ( $-SO_3H$ ) ou des sulfonates ( $-SO_3-$ ).

Les Pfas présentent donc des structures et des propriétés physiques, chimiques et toxicologiques associées variées. Compte tenu de leurs grandes diversité et complexité, il s'avère utile de les caractériser et de les classer d'une manière cohérente et homogène. L'OCDE propose ainsi des éléments pour identifier et catégoriser les Pfas [1]. Une première distinction (mentionnée également dans d'autres publications [2]) est proposée entre deux grandes sous-familles : les Pfas non polymères et les Pfas polymères (cf. Figure 1).

↓ FIGURE 1  
La famille des substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas).



### Les Pfas non polymères

Les Pfas non polymères se composent de deux classes: les substances perfluoroalkylées et les substances polyfluoroalkylées. Les substances perfluoroalkylées ont une chaîne carbonée entièrement fluorée, alors que les substances polyfluoroalkylées ont une chaîne carbonée partiellement fluorée (au moins un atome de carbone est lié à un atome d'hydrogène).

Parmi les substances perfluoroalkylées, la catégorie des acides perfluoroalkylés (PFAA) est la plus étendue, et deux sous-classes peuvent être identifiées

Pfas - PFAA	NUMÉRO CAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE
<b>Acides perfluoroalkylés carboxyliques (PFCA)</b>		
Acide perfluorobutanoïque (PFBA)	375-22-4	4
Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)	2706-90-3	5
Acide perfluorohexanoïque (PFHxA)	307-24-4	6
Acide perfluoroheptanoïque (PFHpA)	375-85-9	7
Acide perfluorooctanoïque (PFOA*)	335-67-1	8
Acide perfluorononanoïque (PFNA*)	375-95-1	9
Acide perfluorodécanoïque (PFDA)	335-76-2	10
Acide perfluoroundécanoïque (PFUnA/PFUnDA)	2058-94-8	11
Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA)	307-55-1	12
Acide perfluorotridécanoïque (PFTrDA)	72629-94-8	13
Acide perfluorotétradécanoïque (PFTeDA)	376-06-7	14
<b>Acides perfluoroalkylés sulfoniques (PFSA)</b>		
Acide perfluorobutane sulfonique (PFBS)	375-73-5	4
Acide perfluoropentane sulfonique (PFPeS)	2706-91-4	5
Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS)	355-46-4	6
Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS)	375-92-8	7
Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS*)	1763-23-1	8
Acide perfluorononane sulfonique (PFNS)	68259-12-1	9
Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS)	335-77-3	10
Acide perfluoroundécane sulfonique (PFUnS/PFUnDS)	749786-16-1	11
Acide perfluorododécane sulfonique (PFDoDS)	79780-39-5	12
Acide perfluorotridécane sulfonique (PFTrDS)	91563-89-8	13
Acide perfluorotétradécane sulfonique (PFTeDS)	1379460-39-5	14

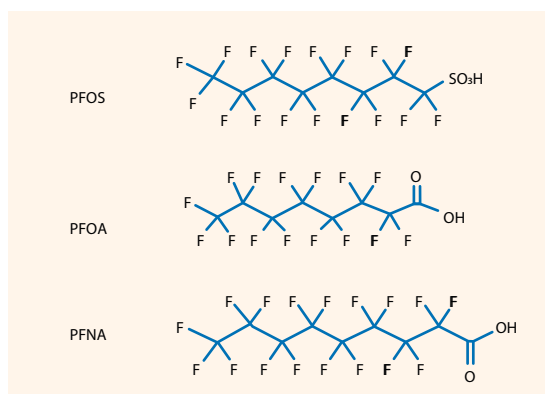
← **TABLEAU 1**  
Les Pfas non polymères : les principaux acides perfluoroalkylés (PFAA).

\*Le PFOA, le PFOS et le PFNA sont les Pfas les plus historiquement utilisés et donc ceux les plus retrouvés dans l'environnement.

en fonction du groupe fonctionnel lié (Cf. *Tableau 1* et *Figure 2*) : les acides perfluoroalkylés carboxyliques (PFCA) et les acides perfluoroalkylés sulfoniques (PFSA). L'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS), qui sont les Pfas non polymères les plus utilisés historiquement (et les plus étudiés), font partie de la catégorie des PFAA. Le premier appartient à la sous-classe des PFCA, le second à celle des PFSA.

Au sein de la catégorie des PFAA, les substances sont également discernées en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée. Un PFSA est considéré « à chaîne courte » s'il contient jusqu'à cinq atomes de carbone, alors qu'un PFCA est dit « à chaîne courte » s'il comporte jusqu'à sept atomes de carbone. Les Pfas à chaîne courte ont été développés plus récemment, pour remplacer ceux à chaînes longues (comprenant jusqu'à 14 atomes de carbone).

Les substances polyfluoroalkylées sont également divisées en plusieurs catégories, telles que les fluorotélomères. Ces substances peuvent se dégrader ou se transformer en substances perfluoroalkylées et sont notamment des « précurseurs » de PFCA et de PFSA.



← **FIGURE 2**  
Les principaux PFCA et PFSA : les formules chimiques (semi)-développées.

## Les Pfas polymères

Les polymères composés de monomères perfluorés (c'est-à-dire les polymères qui possèdent une structure  $C_nF_{2n+1}$ ) appartiennent tous à la famille des Pfas ; mais tous les Pfas polymères ne sont pas constitués à partir de monomères appartenant à la famille des Pfas. Des auxiliaires de polymérisation utilisés lors de la fabrication des Pfas polymères peuvent également être des Pfas non polymères. Trois classes de Pfas polymères peuvent être distinguées :



- les fluoropolymères parmi lesquels le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyfluorure de vinylidène (PVDF) et le polyfluorure de vinyle (PVF) ;
- les polymères à chaînes latérales fluorées ;
- les polyéthers perfluorés.

La dégradation des Pfas polymères (notamment des polymères à chaînes latérales fluorées) en Pfas non polymères lors de leur fabrication, de leur utilisation ou de leur fin de vie, a été démontrée, mais nécessite encore des études.

### Les expositions professionnelles

Les expositions professionnelles aux Pfas peuvent survenir au cours des différentes étapes de leur cycle de vie (Cf. Figure 3) que sont :

- la production des Pfas ;
- la fabrication de produits ou de matériaux contenant des Pfas ;
- l'utilisation de produits ou de matériaux contenant des Pfas ;
- le traitement des déchets et des eaux usées contenant des Pfas ;
- la dépollution de sites et de sols contaminés par des Pfas.

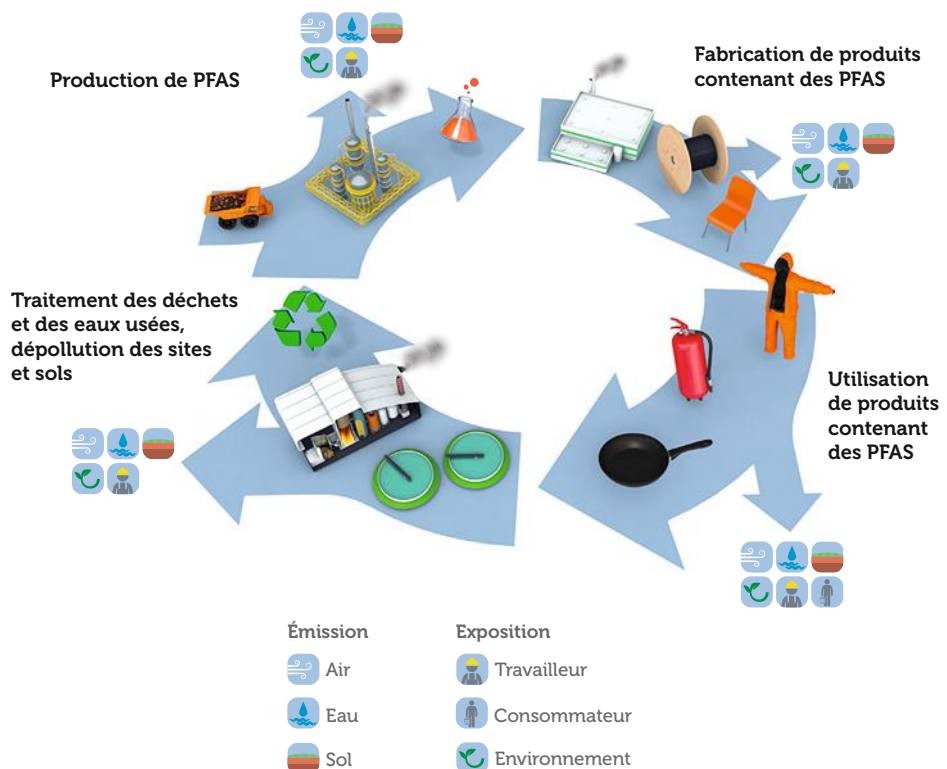
De nombreux secteurs d'activité sont ainsi concernés par les Pfas : la chimie, qui produit ces substances ; mais également ceux qui fabriquent et/ou utilisent des produits et des matériaux qui en contiennent : la cosmétique, le textile et l'ameublement, la fabrication de dispositifs médicaux, l'emballage, l'aéronautique, l'automobile, l'électronique,

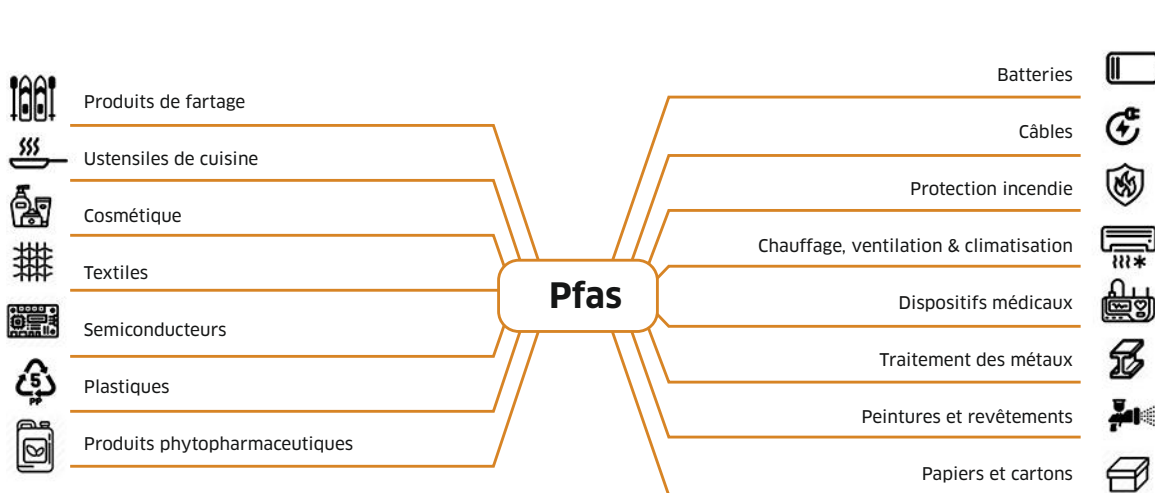
### ENCADRÉ LES PROPRIÉTÉS ET LES APPLICATIONS DES PFAS

Les propriétés des Pfas sont multiples : antiadhésives, ignifuges, antitaches, imperméabilisantes, résistantes aux fortes températures, émulsifiantes, tensioactives, etc., ces substances sont donc mises en œuvre dans des applications variées (Cf. Figure 4) [5] :

- les textiles et l'ameublement,
- les emballages alimentaires,
- les mousses anti-incendie,
- les produits de fartage pour les skis,
- les revêtements anti-adhésifs,
- les cosmétiques et produits de soin,
- les dispositifs médicaux,
- les produits phytopharmaceutiques,
- les produits de nettoyage,
- les matériaux de construction,
- les peintures, vernis et encres,
- les gaz fluorés,
- les huiles moteur,
- les lubrifiants,
- les papiers,
- les joints et isolants,
- les piles et batteries,
- etc.

FIGURE 3 →  
Les sources  
d'exposition  
professionnelle  
aux Pfas [4].





← FIGURE 4  
Quelques  
exemples  
d'applications  
des Pfas.

la pharmacie, l'énergie, le nettoyage, l'entretien des espaces verts, le bâtiment et les travaux publics, la fabrication de biens d'équipements de la maison, la lutte contre les incendies, la métallurgie, etc.

Les secteurs de la gestion des déchets et des eaux usées, ainsi que celui du traitement des sites et sols pollués, sont également particulièrement concernés par les Pfas, du fait de leur diffusion et de leur persistance (Cf. Focus pp. 16-18).

En milieu professionnel, la fréquence et le niveau des expositions aux Pfas sont potentiellement plus élevés que dans la population générale. Par ailleurs, les scénarios d'exposition divergent. En entreprise, les salariés sont principalement exposés par inhalation de poussières, de gaz et de vapeurs. Ils peuvent également, dans une moindre mesure, être exposés par ingestion (en portant les mains ou des objets souillés à la bouche) et par voie cutanée, suite à la présence de Pfas sur la peau. La population générale est, quant à elle, principalement exposée par ingestion via des aliments et de l'eau contaminés. Enfin, sur les lieux de travail, les expositions sont possibles à plusieurs Pfas, ainsi qu'à d'autres substances chimiques : ces mélanges peuvent induire des effets additifs sur la santé, voire synergiques. Il convient également d'être vigilant lors de l'utilisation ou de la fin de vie des Pfas polymères (par exemple lors de leur élimination ou de leur recyclage), ils peuvent se dégrader et émettre des Pfas non polymères. De même, les substances polyfluoroalkylées peuvent se dégrader ou se transformer en substances perfluoroalkylées au cours de leur cycle de vie (de la fabrication à l'élimination).

Néanmoins, à ce jour, peu de données atmosphériques ou biométriologiques relatives à l'exposition de salariés aux Pfas ont été publiées. Elles concernent quelques métiers, notamment les plus

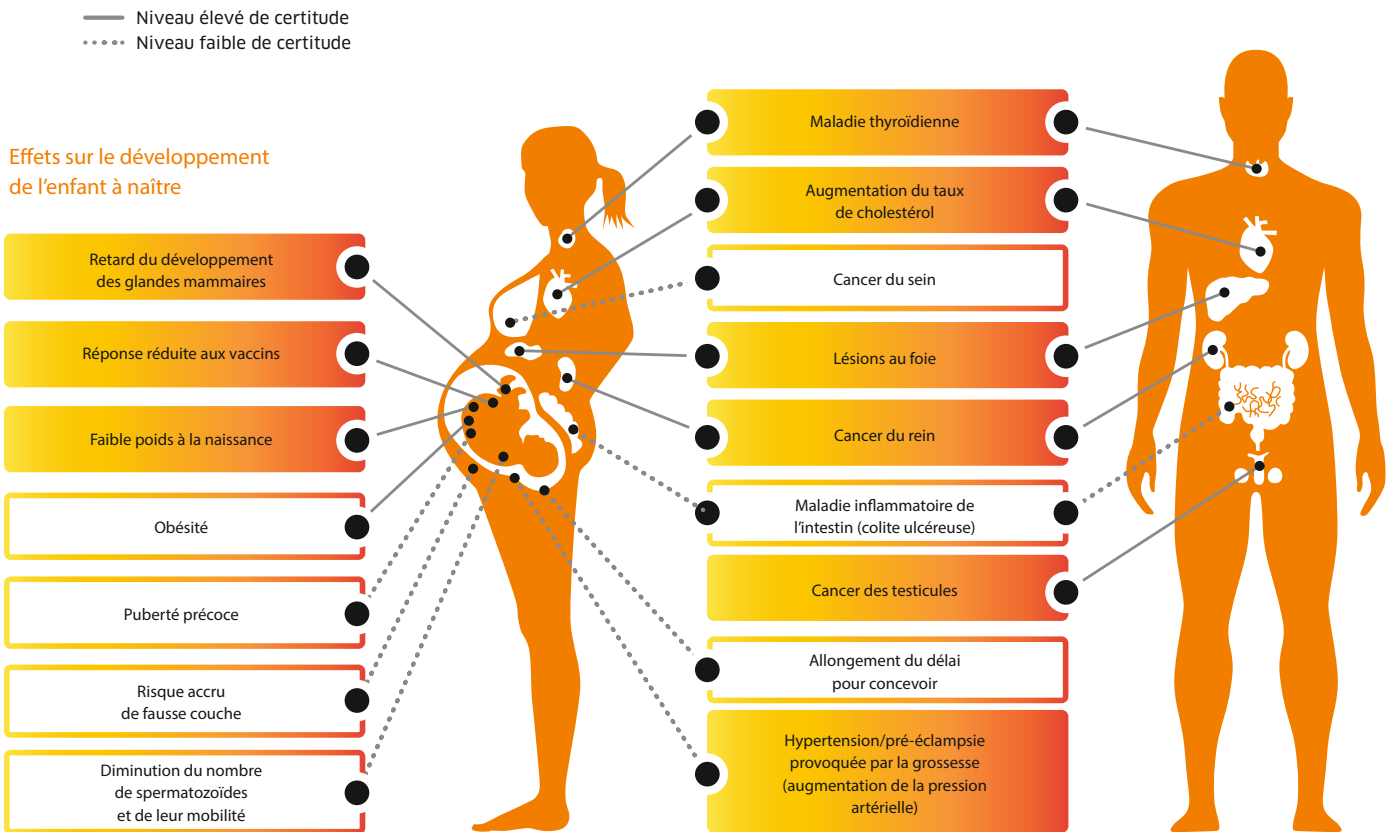
exposés comme les pompiers, les salariés de la chimie produisant ou utilisant des Pfas (en particulier les fluoropolymères), de la métallurgie et du textile, ainsi que les agents d'entretien et de maintenance, les techniciens de fartage de skis, ou encore les travailleurs impliqués dans le recyclage des déchets (dont les déchets d'équipements électriques et électroniques ou DEEE) [6,7,8]. En effet, les méthodes de prélèvement et d'analyse, notamment dans l'air, sont rares ; elles portent sur un nombre limité de Pfas et les résultats associés sont difficilement exploitables. De même, les méthodes d'analyse dans le sang et l'urine sont peu nombreuses et ne concernent que quelques substances telles que le PFOA ou le PFOS [9]. Il n'existe pas, par ailleurs, en France de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) ou de valeur limite biologique (VLB) pour les Pfas. L'Allemagne propose des VLB pour le PFOS et le PFOA, ainsi qu'une VLEP-8h de 0,01 mg/m<sup>3</sup> pour le PFOS (fraction inhalable), mais les modalités de mesurage ne sont pas précisées.

### Les effets sur la santé

La diversité de la famille des Pfas rend l'évaluation de leurs effets sur la santé complexe. Les données actuellement disponibles proviennent ainsi d'études portant sur un nombre restreint de substances : il s'agit principalement du PFOA, du PFOS, du PFNA, du PFHxS et du PFHxA [10,11]. Une attention particulière a en effet été portée à certains Pfas non polymères, historiquement utilisés et donc, plus abondants dans l'environnement.

Les études épidémiologiques sur les Pfas non polymères à longue chaîne, tels que le PFOA et le PFOS, ont ainsi débuté aux alentours des années 2000 et concernent principalement la population générale. Elles corroborent certaines observations relevées *via* des études toxicologiques menées chez l'animal





**FIGURE 5 ↑**  
 Les effets avérés ou potentiels des Pfas sur la santé [14].

telles que des lésions hépatiques ou la diminution de la croissance foétale.

Les données disponibles révèlent que les Pfas sont majoritairement éliminés par voies rénale et digestive. Si leur demi-vie longue dans l'environnement est liée à la stabilité de la liaison carbone-fluor, elle semble être, dans l'organisme humain, principalement associée à leur réabsorption rénale et à leur cycle entéro-hépatique.

Du fait de leurs longues demi-vies, de leur distribution dans l'organisme et de leurs interactions avec différents organes cibles (tels que le foie, les reins, etc.), de nombreux effets ont été rapportés chez des organismes exposés à des Pfas, dont certains ont été observés chez leur descendance (cf. Figure 5) :

- des lésions hépatiques ;
- une augmentation du taux de cholestérol ;
- des pathologies cardiovasculaires ;
- une hausse de certains cancers : du rein, des testicules et du sein ;
- une diminution de la réponse du système immunitaire à la vaccination (chez l'adulte et chez l'enfant d'une mère exposée) ;
- des désordres thyroïdiens (hypothyroïdie, hyperthyroïdie) ;
- de l'hypertension artérielle chez la femme enceinte ;

- des troubles de la reproduction et de la fertilité (baisse de la qualité des gamètes, troubles du cycle menstruel, etc.) ;
- des maladies inflammatoires de l'intestin ;
- des troubles neurodégénératifs chez l'adulte ;
- des troubles du développement chez l'enfant d'une mère exposée : un retard de croissance (faible poids de naissance), des troubles du neurodéveloppement (langage, troubles de l'attention) et des anomalies métaboliques (obésité, etc.).

De nombreux Pfas sont ainsi susceptibles d'induire des effets immunotoxiques, hépatiques, métaboliques, et certains d'entre eux peuvent favoriser la survenue de cancers [10,11,12]. Plusieurs Pfas sont par ailleurs des perturbateurs endocriniens avérés ou potentiels [13].

Les niveaux et les durées d'exposition à partir desquels des effets sur la santé humaine surviennent n'ont cependant pas été établis. De même, les potentiels effets d'une polyexposition à plusieurs Pfas, ou avec d'autres substances chimiques, sont peu documentés.

Enfin, la toxicité des Pfas à chaîne courte a, quant à elle, été peu étudiée (par exemple, celle de l'acide trifluoroacétique : TFA), de même que celle des Pfas polymères, de leurs substituts (nouveaux Pfas) et de leurs produits de dégradation.

## Le contexte réglementaire

La réglementation sur les Pfas suit deux axes, aux niveaux national et international :

- le premier consiste en une réduction à la source, par des mesures de restriction ou d'interdiction d'importation, de fabrication et d'utilisation de certains Pfas. Cette réglementation cible des substances, des usages et des milieux particuliers ;
- le second axe est la surveillance de la présence de Pfas dans différentes matrices de l'environnement (eau de consommation humaine, aliments, milieux aquatiques, etc.) et de l'exposition aux Pfas, et de ses impacts sur la santé et l'environnement. Cette surveillance s'accompagne de la fixation de « critères de qualité » ou de « limites », comme pour l'eau de consommation humaine.

## À l'échelle communautaire

La convention de Stockholm a pour objectif d'encadrer certains polluants organiques persistants (POP). Elle est mise en œuvre au sein de l'Union européenne *via* le Règlement « POP » (UE) 2019/1021 modifié. Ce règlement vise plusieurs Pfas qui font l'objet d'une interdiction de production, de mise sur le marché et d'utilisation depuis 2009 pour le PFOS (sauf exceptions), depuis 2020 pour le PFOA (sauf exceptions) et depuis 2022 pour le PFHxS.

Par ailleurs, dans le cadre du règlement européen Reach, qui porte sur l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques mises sur le marché (règlement (CE) 1907/2006 modifié), certains Pfas font partie de la liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC), candidates à l'autorisation : le PFOA, les PFCA en C9 à C14, le PFHxS, le PFDA, le HPFO-DA<sup>1</sup>, le PFBS et le PFHpA. Le règlement européen Reach prévoit également des restrictions de fabrication et d'utilisation des PFCA en C9 à C14, leurs sels et composés (avec quelques dérogations) depuis février 2023, et d'utilisation du PFHxA, ses sels et composés, à partir d'octobre 2026. Par ailleurs, une restriction concernant tous les Pfas utilisés dans les mousses anti-incendie a été récemment introduite. C'est la première fois que la famille entière des Pfas est visée par une restriction dans le cadre du règlement Reach pour un usage particulier. Enfin, en 2023, cinq pays européens (Allemagne, Danemark, Pays-Bas, Suède et Norvège) ont proposé une approche plus globale, qui consiste, plutôt que de travailler substance par substance, à limiter la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de tous les Pfas (famille entière) aux seuls usages essentiels pour la société. Cette proposition de restriction, soutenue par la France, est en cours d'évaluation au niveau de l'Union européenne.

Au niveau du règlement européen CLP, qui porte sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des

substances et mélanges chimiques (règlement (CE) 1272/2008 modifié), plusieurs Pfas font l'objet d'une classification harmonisée :

- le PFOA qui est notamment classé cancérigène de catégorie 2 (cancérigène suspecté) ; H351, toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé) ; H360D et toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou *via* l'allaitement ; H362.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a également classé le PFOA comme cancérigène du groupe 1 : agent cancérigène pour l'homme [15].

- le PFOS qui est notamment classé cancérigène de catégorie 2 (cancérigène suspecté) ; H351, toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé) ; H360D et toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou *via* l'allaitement ; H362.

Le CIRC a classé le PFOS comme cancérigène du groupe 2B, agent pouvant être cancérigène pour l'homme [15].

Par ailleurs, d'autres Pfas sont classés toxiques pour la reproduction de catégorie 1B, tels que le PFHpA ou le PFDA (classé également cancérigène de catégorie 2).

Des règles de classification et d'étiquetage pour les perturbateurs endocriniens, les produits chimiques

Nettoyage industriel utilisant des détergents contenant des Pfas (tels que du PFBS).





Traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) pouvant contenir des Pfas.

© Gaoi Kerbaol / INRS / 2013

PBT/vPvB<sup>2</sup> et PMT/vPvM<sup>3</sup> ont dernièrement été introduites dans le règlement CLP *via* le règlement délégué (UE) 2023/707. Ces règles applicables, de façon obligatoire aux substances concernées depuis le 1<sup>er</sup> mai 2025 et aux mélanges à partir du 1<sup>er</sup> mai 2026 (sauf dérogations), concourent à faciliter le repérage des Pfas *via* les informations disponibles dans les fiches de données de sécurité (FDS).

### À l'échelle française

En entreprise, la prévention des risques associés aux Pfas repose sur les principes généraux de prévention édictés dans le Code du travail (articles L. 4121-1 et suivants) et plus spécifiquement, sur les règles particulières applicables aux agents chimiques dangereux définis réglementairement comme cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR – articles R. 4412-59 à R. 4412-93).

Par ailleurs, des dispositions spécifiques existent pour les femmes enceintes ou allaitantes. Il est interdit de les affecter ou de les maintenir à des postes de travail les exposant à des Pfas classés toxiques pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B ou de catégorie supplémentaire de danger des effets sur ou *via* l'allaitement – mention de danger H362 au sens du règlement CLP (article D. 4152-10).

Un plan d'actions interministériel consacré aux Pfas a été lancé en France en 2024 [16]. Il vise à réduire les risques à la source, à poursuivre la surveillance des milieux, à accélérer la production des connaissances et à faciliter l'accès à l'information pour les citoyens. Une action (numérotée 20) porte spécifiquement sur la prise en compte des enjeux de santé au travail pour les professions susceptibles d'être particulièrement exposées.

Au niveau du Code de l'environnement, plusieurs textes réglementaires récents visent à surveiller les Pfas dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et dans les effluents et les émissions atmosphériques des installations de traitement des déchets [17,18,19]. Des Pfas ou des listes de Pfas à analyser sont mentionnés dans ces arrêtés.

Enfin, à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2026, seront interdits à la fabrication, à l'importation, à l'exportation et à la mise sur le marché (à titre onéreux ou gratuit) les produits suivants contenant des Pfas : les cosmétiques, les farts ainsi que les vêtements, chaussures et leurs imperméabilisants (excepté les vêtements et chaussures de protection, comme ceux des pompiers ou des militaires) [20]. Cette interdiction sera étendue au 1<sup>er</sup> janvier 2030 à tous les textiles (d'ameublement, par exemple), sauf exceptions, comme les textiles techniques à usage

industriel qui seront listés par décret. Ces interdictions ne s'appliqueront pas aux produits contenant des Pfas présents en concentration inférieure ou égale à une valeur résiduelle qui sera définie par décret.

## La prévention des risques professionnels

Les Pfas doivent être intégrés dans une approche globale d'évaluation et de prévention des risques chimiques en entreprise [21]. Les résultats de cette approche doivent être consignés dans le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP). La démarche de prévention des risques qu'il convient de mettre en œuvre pour tous les Pfas est analogue à celle déployée pour les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) [12]. Elle consiste à :

- éviter les risques, si possible en les supprimant ;
- évaluer les risques et les combattre à la source ;
- remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou ce qui l'est moins : substitution des produits dangereux par des produits moins dangereux ;
- privilégier les mesures de protection collective (ventilation et assainissement de l'air, mécanisation, encoffrement...) par rapport aux mesures de protection individuelle ;
- former et informer les salariés.

Le repérage et l'inventaire des Pfas et des matériaux et produits qui en contiennent est un préalable indispensable à l'élaboration d'une démarche de prévention des risques adaptée. Ils doivent prendre en compte les matières premières, les produits de dégradation, les produits finis, les produits de nettoyage ou d'entretien, les déchets, etc.

Il n'existe pas de liste exhaustive de Pfas. Le repérage des Pfas est facilité par les données figurant dans les FDS relatives aux substances extrêmement préoccupantes (SVHC) et aux éléments de classification et d'étiquetage des substances et des mélanges présentant des effets « perturbateur endocrinien », ainsi que des propriétés PBT, vPvB, PMT et vPvM (Cf. Notes 2 et 3).

En l'absence d'information dans les FDS, il est possible de contacter les fournisseurs ou de se référer à certaines bases de données, telles que Chemsec Pfas guide<sup>4</sup>. Des sources d'informations par secteur existent également, telles que l'IMDS<sup>5</sup> pour la filière automobile ou les MDF<sup>6</sup> pour le secteur de l'électronique. L'INRS a également élaboré un outil d'aide au repérage des perturbateurs endocriniens en entreprise, dans lequel figurent quelques Pfas [22]. Pour chaque substance, les principaux secteurs d'activité et usages (passés et actuels) concernés sont recensés. Sont également renseignés pour chaque Pfas, le numéro CAS, la catégorie au regard des effets de perturbation endocrinienne sur la santé et, le cas échéant, la classification CMR (règlement CLP), le ou les tableaux de maladies

professionnelles (régime général) ainsi que la fiche toxicologique associée.

Dans le Code de l'environnement, des listes de Pfas à analyser dans les émissions atmosphériques et dans les rejets aqueux de certaines installations industrielles ont été établies. Ces listes, qui contiennent quelques dizaines de substances, se basent généralement sur les Pfas les plus connus et présents dans l'environnement [18,19]. Or, les produits et procédés évoluent rapidement (en fonction notamment de la réglementation) et les Pfas mis en œuvre dans les entreprises peuvent différer de ceux répertoriés dans ces listes.

Des incertitudes subsistent quant aux effets des Pfas sur la santé. Dans l'attente de nouvelles données scientifiques, il est conseillé de privilégier la suppression des Pfas inventoriés ou leur substitution par des substances présentant un danger moindre. Lors de la substitution, il importe d'être vigilant quant au choix du produit de remplacement et de veiller à ne pas déplacer le danger.

Compte tenu de la grande variété d'utilisations des Pfas, et en l'absence d'alternative générique, il convient d'appréhender les possibilités de substitution application par application [23,24]. Au cours des dernières décennies, les PFAA à chaîne courte ont été mis en œuvre notamment comme alternatives au PFOS et au PFOA (qui font l'objet d'une interdiction de production, de mise sur le marché et d'utilisation sauf dérogations). Les PFAA à chaîne courte sont, à l'instar des PFAA à chaîne longue, persistants et peuvent présenter un niveau équivalent de préoccupation pour la santé. Des composés basés sur des fluorotélomères ou des acides perfluoroalcanes-éther carboxyliques, comme le HPFO-DA dont la toxicité demeure méconnue, ont également été utilisés comme substituts. Il apparaît donc essentiel de demeurer vigilant lors de la mise en place d'une démarche de substitution des Pfas, souvent concomitante à l'évolution de la réglementation, afin de ne pas produire ou utiliser des alternatives dont les effets sur la santé sont peu renseignés.

Si la suppression ou la substitution des Pfas se révèle impossible, des mesures de protection doivent être prises pour réduire l'exposition des salariés au niveau le plus bas techniquement possible. La priorité est la mise en œuvre de moyens de protection collective, tels que :

- le travail en vase clos, à défaut l'encoffrement, la mécanisation ou l'automatisation des procédés de travail ;
- la mise en place d'une ventilation locale c'est-à-dire de dispositifs de captage à la source des Pfas. La ventilation locale nécessite de respecter certains principes :
  - capter au plus près de la zone d'émission des Pfas ;
  - maintenir une vitesse de captage adéquate et continue au point d'émission ;





© Vincent Nguyen pour l'INRS / 2018

Atelier de fabrication de circuits imprimés, où peuvent être utilisés des Pfas.

- envelopper au maximum la zone d'émission ;
- induire des vitesses d'air suffisantes et homogènes, mais sans suritesse ;
- rejeter l'air à l'extérieur des bâtiments après filtration (le recyclage est à proscrire).

En complément de la ventilation locale, il importe de mettre en œuvre une ventilation générale.

Des mesures organisationnelles doivent également être instaurées, telles que l'établissement de procédures de travail (notices de poste), l'interdiction d'accès à certaines zones au personnel non habilité, l'organisation des flux, le stockage des produits, le nettoyage et l'entretien des installations, la gestion des incidents et des accidents, etc.

Si ces mesures sont insuffisantes, l'employeur doit mettre à disposition des salariés des équipements de protection individuelle (EPI) : gants étanches, appareil de protection respiratoire, vêtement de protection contre le risque chimique, lunettes... Le choix des EPI va dépendre de la forme physique

des Pfas produits, utilisés ou générés (poussières, vapeurs, etc.), de la durée et de la fréquence des opérations effectuées, du niveau d'émission attendu, etc.

Enfin, des mesures d'hygiène doivent être établies et respectées. Il convient également de former et d'informer les salariés sur les risques et leur prévention, en l'état actuel des connaissances, en particulier celles et ceux en âge de procréer. Pour les femmes enceintes, ou ayant un projet de grossesse, potentiellement exposées à des Pfas, il importe de les encourager à contacter leur service de prévention et de santé au travail.

### Conclusion et perspectives

La prise de conscience de la problématique des Pfas a été progressive. Elle s'est faite à plusieurs niveaux (industriels, ONG, politiques...) et s'est affinée pendant une vingtaine d'années, à la faveur des études menées sur leurs sources (rejet industriel, utilisation de produits en contenant, etc.), leurs devenir (diffusion et accumulation dans l'environnement et les organismes vivants) et leurs effets, ainsi que des réglementations qui en ont découlé. Enjeux de santé publique et environnementale, les Pfas concernent également la santé au travail. De nombreux secteurs d'activité produisent et/ou utilisent des Pfas ou des produits qui en contiennent, certains depuis les années 1960. Par ailleurs, la fin de vie (sous formes de déchets, d'effluents...) de ces composés très mobiles et persistants induit également l'exposition de salariés impliqués dans le traitement des déchets et des eaux usées, ainsi que dans la dépollution des sites et des sols contaminés. Du fait de la multiplicité et de la complexité de ces substances chimiques et de leurs caractéristiques physicochimiques variées, il est difficile de les analyser. Des méthodes existent notamment pour quantifier les Pfas dans l'eau, mais peu dans l'air ou les milieux biologiques. Les données (atmosphériques et biométriologiques) d'exposition en milieu professionnel sont donc peu nombreuses. Des travaux visant à développer et à valider des méthodes de prélèvement et d'analyse *ad hoc* sont en cours. Compte tenu de l'imprégnation de la population à ces substances, la mise en œuvre de ces méthodes en entreprise impliquera une caractérisation rigoureuse des postes de travail concernés et des tâches associées.

De même, les travaux menés sur les effets sur la santé portent sur un nombre limité de Pfas, notamment les PFAA à chaînes carbonées longues tels que le PFOA et le PFOS. Et l'évolution de la réglementation conduit les industriels à les remplacer en développant ou en utilisant de nouveaux Pfas pour pallier les interdictions ou restrictions de fabrication et d'usage. La diversité de ces substances place par ailleurs la communauté scientifique face

à l'immense défi d'évaluer la toxicité de chaque composé de cette famille. Les études toxicologiques et épidémiologiques publiées tendent toutefois à montrer des conséquences néfastes, tant chez les individus exposés que sur leur descendance. Il convient de poursuivre les travaux visant notamment à établir des liens de causes à effets, ainsi que les conséquences de l'exposition cumulée à plusieurs Pfas ou à d'autres substances chimiques dont les Pfas.

Au regard de ce constat, il importe de mettre en place, dans toutes les entreprises concernées par les Pfas, une démarche de prévention visant à supprimer les risques ou, à défaut, à limiter l'exposition des travailleurs, et particulièrement celle des

femmes ou des hommes en âge de procréer, à un niveau aussi bas que techniquement possible.

La suppression ou la substitution des Pfas demeure la mesure prioritaire, en demeurant vigilant sur le choix de l'alternative afin de ne pas « déplacer le danger ». ●

1. HPFO-DA : acide 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionique.
2. PBT/vPuB : persistants, bioaccumulables et toxiques/très persistants et très bioaccumulables.
3. PMT/ vPuM : persistants, mobiles et toxiques/très persistants et très mobiles.
4. Voir : Pfas Guide – Find Pfas chemicals in your products. Accessible sur : <https://pfas.chemsec.org>
5. Système international de collecte de données matières.
6. Formulaire de déclaration des matériaux.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] OCDE – *Reconciling terminology of the universe of per- and polyfluoroalkyl substances: recommendations and practical guidance*. 2021.
- [2] BUCK R.C. ET AL. – Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management*, 2011, 7 (4), pp. 513-541.
- [3] OCDE – *Toward a new comprehensive global database of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): summary report on updating the OCDE 2007 list of per-and polyfluoroalkyl substances*. 2018.
- [4] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY – *Fluorinated polymers in a low carbon, circular and toxic-free economy*. Technical report, 2021.
- [5] GLÜGE J. ET AL. – An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas). *Environnemental science: processes & impacts*, 2020, 22, pp. 2345-2373.
- [6] PARIS-DAVILA T. ET AL. – Occupational exposures to airborne per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 393-410.
- [7] LUCAS K. ET AL. – Occupational exposure and serum levels of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 379-392.
- [8] MOORE S.M. ET AL. – Effective coordination, collaboration, communication, and partnering are needed to close the gaps for occupational Pfas exposure. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 351-352.
- [9] INRS – *Base de données Biotox*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>
- [10] INRS – *Acide perfluorooctanoïque et ses sels (PFOA et ses sels)*. Fiche toxicologique n° 300. Accessible sur : [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_300](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_300)
- [11] INRS – *Acide perfluorooctanesulfonique et ses sels (PFOS et ses sels)*. Fiche toxicologique n° 298. Accessible sur : [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_298](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_298)
- [12] INRS – *Agents chimiques CMR (cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction)*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/cmr-agents-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [13] INRS – *Perturbateurs endocriniens*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/perturbateurs-endocriniens/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [14] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2019) – *d'après US National Toxicology Program (2016) ; C8 Health Project Reports (2012); WHO IARC (2017); Barry et al. (2013); Fenton et al. (2009); White et al. (2011)*.
- [15] CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LE CANCER – *Acide perfluorooctanoïque (PFOA) et acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)*. Circ/IARC, 2024, Monographie n° 135.
- [16] MINISTÈRE EN CHARGE DE L'ÉCOLOGIE – *Plan d'actions interministériel sur les Pfas, 2023-2027*. Accessible sur : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2024.04.05\\_Plan\\_PFAS.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2024.04.05_Plan_PFAS.pdf)
- [17] ARRÊTÉ DU 17 DÉCEMBRE 2019 relatif aux meilleures techniques disponibles (MTD) applicables à certaines installations de traitement de déchets relevant du régime de l'autorisation et de la directive IED. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [18] ARRÊTÉ DU 20 JUIN 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [19] ARRÊTÉ DU 31 OCTOBRE 2024 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les émissions atmosphériques des installations d'incinération, de co-incinération et d'autres traitements thermiques de déchets. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [20] LOI N° 2025-188 DU 27 FÉVRIER 2025 visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées. Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [21] INRS – *Risques chimiques*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- [22] INRS – *Repérage des perturbateurs endocriniens en entreprise. Outil d'aide à l'évaluation du risque chimique*. Outil n° 16. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil16>
- [23] INRS – *Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS). Chromage électrolytique des métaux*. Fiche d'aide à la substitution FAS 36. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=FAS%2036>
- [24] INERIS – *Substitution des composés per- et polyfluoroalkylés (Pfas) et des substances persistantes, mobiles et toxiques (PMT)*. Accessible sur : <https://substitution-perfluores.ineris.fr/fr>



## FOCUS SUR... Les Pfas en sites et sols pollués

Anita Romero-Hariot, INRS, département Expertise et conseil technique

La présence de Pfas dans les milieux naturels relève obligatoirement d'une origine anthropique car ces substances n'existent pas naturellement, contrairement à d'autres éléments chimiques comme, par exemple, les métaux dans la croûte terrestre. Synthétisés par l'homme, les Pfas dans l'environnement proviennent de résidus de production et de rejets industriels, d'utilisation des mousses anti-incendie, de retombées de panaches d'incinérateurs, d'épandage de certains produits phytopharmaceutiques ou de boues de station d'épuration contaminées, des filières de gestion des déchets... Les études sur le comportement des Pfas dans les sols établissent que plus leur chaîne carbonée est longue, plus leur sorption<sup>1</sup> est élevée ; et plus le pH du milieu diminue, plus leur sorption augmente [1]. Leur transfert dans les différents milieux va s'opérer sur de plus ou moins longues distances et est dépendant de facteurs comme la nature même des Pfas (classe, spéciation, propriétés physico-chimiques, caractère amphiphile [comprenant à la fois des caractéristiques hydrophile et lipophile], longueur de la chaîne carbonée...), leur concentration, les milieux récepteurs et de transfert (air, sol, sous-sol, eaux de surface, eaux souterraines), la saturation du milieu et son activité biologique, la présence de co-polluants, l'ancienneté et la fréquence des événements ayant conduit à la pollution, le type de source (primaire, correspondant au premier point d'émission du polluant comme les rejets industriels ; secondaire, dus à la répercussion sur les milieux de la diffusion d'une source de pollution primaire ; diffuse ou localisée)...

Il est donc nécessaire, le plus en amont possible d'un projet de réhabilitation de sites et sols pollués (SSP), et notamment dans l'objectif de prévenir l'exposition des travailleurs à ces substances, de vérifier, en s'appuyant par exemple sur l'étude d'interprétation de l'état des milieux (IEM)<sup>2</sup>, si la concentration de Pfas dans les sols dépasse les valeurs de fond<sup>3</sup> les plus représentatives des milieux naturels<sup>4</sup>. L'état des lieux réalisé par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) [2] sur la méthodologie de fixation des valeurs de fond dans les sols des différents pays de l'Union européenne montre des variations sur les stratégies adoptées, notamment le choix des Pfas, des sites de prélèvement du sol (urbain, agricole, naturel...), des stratégies d'échantillonnage, des méthodes d'analyse et de calcul... Cependant et malgré les incertitudes qui en découlent, le BRGM a pu retenir des valeurs de fond de Pfas en Europe et aux États-Unis comprises entre 0,3 et 11 µg/kg pour les sols urbains et entre < 0,03 µg/kg et 6 µg/kg pour les sols non urbains.

Sur le plan opérationnel, la recherche et l'identification dans les sols des Pfas les plus abondants et les plus dangereux pour la santé humaine<sup>5</sup> devraient être systématiques avant d'entreprendre des travaux en SSP. La recherche des Pfas dits « précurseurs » devrait également être effectuée, en raison de leur tendance à se biodégrader en acides perfluoroalkylés dans l'environnement ; ces formes générées sont plus courtes, non dégradables (dans les conditions environnementales « normales »), plus solubles, plus mobilisables dans les milieux et suspectées d'être plus toxiques. L'information préalable sur la présence des Pfas peut être obtenue sur la base des recherches documentaires et historiques concernant les sites [3], et prenant en compte les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) en activité soumises au contrôle des Pfas dans les rejets aqueux et les installations de traitement thermique des déchets soumises à leur contrôle dans les émissions atmosphériques, ou encore en consultant les résultats des études de filières<sup>6</sup>.

Si les recherches documentaires ne permettent pas de connaître la nature des Pfas susceptibles d'avoir contaminé les sols, une recherche avec une méthode analytique quantitative semi-globale peut être adoptée dans un premier temps (par exemple la méthode « TOP-Assay » - *Total Oxidizable Precursor*, dans les matrices « eaux » ou dans les éluats issus de lixiviation de sol) pour qualifier la présence de Pfas « précurseurs » et estimer leur quantité. Par ailleurs, pour éviter les contaminations croisées lors des investigations, une attention particulière doit être portée sur le choix du matériel de prélèvement et d'analyse, les vêtements du préleveur ou encore l'utilisation de cosmétiques, car ces matériels, équipements et produits d'usage quotidien sont susceptibles de contenir des Pfas.

Les techniques de traitement en SSP contaminés aux Pfas consistent généralement à séparer dans un premier temps les Pfas de la matrice dans laquelle ils se trouvent (eau ou sol) et donc à les concentrer. Dans un second temps, un traitement du concentrat visant à les détruire est appliqué (par exemple, un traitement thermique à très haute température – supérieure à 1000°C). Des techniques de confinement avec stabilisation des sols sont également mises en œuvre, mais elles ne détruisent pas les Pfas, elles les « immobilisent » dans une matrice solide.

En SSP, l'exposition aux Pfas peut survenir par inhalation de poussières ou d'aérosols aqueux contenant des Pfas, ou par l'inhalation sous forme de



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS / 2016

vapeurs des Pfas les plus volatils comme les fluorotélomères d'alcools (FTOHs) et les fluorotélomères acrylates (FTACs). Elle peut également résulter de contacts de la peau ou des muqueuses avec les sols ou les eaux ou avoir lieu par ingestion, en cas de mesures de prévention et d'hygiène inappropriées. Les moyens de prévenir ces expositions sont principalement :

- la mise en œuvre de procédés de travail ne générant pas de poussière, à défaut l'utilisation d'outils raccordés à des dispositifs d'aspiration des poussières, ou l'arrosage des sols (selon la nature des sols, cela peut néanmoins entraîner une migration des Pfas aux chaînes les plus courtes dans le sous-sol et vers les nappes ; des mesures complémentaires adaptées doivent alors être mises en œuvre pour éviter ces transferts) ;
- l'utilisation d'engins de terrassement dotés de cabines en surpression avec filtration de l'air, et utilisés portes et fenêtres fermées ;
- le port de gants étanches aux poussières et à l'eau. Selon le composé, la nature du matériau des gants est plus ou moins adaptée. La base de données

ProtecPo [4] peut aider dans le choix des gants en effectuant une recherche par n°CAS de l'agent chimique. À titre d'exemple, pour le PFOS, le résultat indique :

- une forte résistance à la perméation du matériau butyle,
- une résistance moyenne des matériaux nitrile, néoprène et fluoroélastomère,
- une faible résistance du latex ;
- le port de vêtements de travail à manches et jambes longues, éventuellement le port d'une combinaison de type 5 à usage unique (étanche aux poussières) ;
- le port de lunettes de protection ou d'une visière ;
- le cas échéant, le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) anti-poussière ou combiné anti-poussière / anti gaz (pour les volatils comme le FTOH par exemple). Selon la durée des tâches, le niveau d'empoussièrement généré par le processus mis en œuvre, la teneur en polluants dans les sols, et la température extérieure, le choix de l'APR doit être adapté [5]. Il convient de préciser qu'un masque de protection respiratoire est efficace uniquement s'il est choisi à



la bonne taille et porté correctement ajusté au visage, sur une peau imberbe. Une brochure de l'INRS [6] donne des précisions sur les tests à réaliser pour vérifier l'efficacité des protections respiratoires portées ;

- le respect des règles d'hygiène :
  - interdiction de boire, manger ou fumer sur le site, pour supprimer les risques d'ingestion des polluants liés aux contacts mains-bouche ;
  - mise à disposition d'une base vie et d'équipements facilement nettoyables et entretenus quotidiennement, avec un vestiaire dédié pour que les salariés y retirent leurs équipements de protection individuelle, leurs vêtements de travail (y compris les chaussures), prennent une douche, se rhabillent avec leurs vêtements de ville rangés dans un vestiaire propre dédié. Cela a pour objectif d'éviter la contamination des vêtements de ville et de l'habitacle des véhicules et, par conséquent, celle de tierces personnes.

Compte tenu du caractère perturbateur endocrinien de certains Pfas, il est préconisé de réduire autant que possible l'exposition des travailleurs à ces substances. La surveillance des expositions des travailleurs au Pfas se confronte cependant à certaines difficultés. Il n'y a pas encore, en France, de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h) pour les Pfas (ou les composés fluorés organiques). L'Allemagne a fixé pour le PFOS une VLEP-8h de 0,01 mg/m<sup>3</sup> (fraction inhalable) [7], mais ses modalités de mesurage ne sont pas renseignées. Une méthodologie de prélèvement individuel et d'analyse des Pfas est en cours de développement à l'INRS. Elle pourra à terme être utilisée pour surveiller l'exposition des travailleurs du secteur des SSP, la valeur allemande servant alors de repère pour définir les mesures de prévention. Compte tenu de l'ubiquité des Pfas dans l'environnement et de l'imprégnation de la population générale à ces substances, la bio-surveillance professionnelle des Pfas ne pourrait être

recommandée qu'à la condition *sine qua none* d'une caractérisation précise de la ou des substances dans le sol. A ce jour, deux fiches issues de la base de données Biotox sont disponibles pour le suivi du PFOA sanguin et du PFOS sanguin [8]. À défaut de caractérisation, la grande incertitude sur l'interprétation des résultats de biométrie rendrait inappropriée le suivi des travailleurs en SSP. L'Anses expertise actuellement plusieurs substances parmi les plus abondantes dans l'environnement afin d'établir des valeurs biologiques de référence, ce qui devrait permettre à terme de disposer de nouvelles fiches dans la base de données Biotox pour aider les services de prévention et de santé au travail dans leur stratégie de suivi biométrie des travailleurs exposés aux Pfas. ●

1. Capacité du polluant à se fixer sur les particules du sol, et donc à se concentrer dans cette matrice.
2. Le principe de l'IEM est de contrôler par des mesures in situ l'état des milieux et de comparer les résultats aux valeurs de référence.
3. Pour un composé chimique, la valeur de fond (ou encore « bruit de fond » ou « pollution de fond ») dans un milieu environnemental permet de discriminer la part attribuable à l'activité d'un site, de celle présente naturellement dans ce milieu (source géogène) ou issue d'autres activités (source anthropogène) sans lien avec celle du site.
4. Les valeurs de fond diffèrent des valeurs utilisées par les gestionnaires de travaux en SSP en vue de l'établissement du plan de gestion qui tiennent compte de la compatibilité du sol avec son usage futur.
5. Le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé le PFOA (acide perfluorooctanoïque) « cancérogène pour l'homme » du groupe 1 et le PFOS (acide perfluorooctane sulfonique) « peut-être cancérogène pour l'homme » du groupe 2B.
6. Cf. : Article pp. 77 (Note technique) dans ce n° ; et : Note d'accompagnement – Rapport d'étude – 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). Anses, mars 2015.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] INERIS – *Comportement des substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas) dans les sols et les eaux souterraines. Synthèse bibliographique.* Rapport, 2024, 26 p.

[2] BRGM – *État des lieux sur la méthodologie pour la détermination des valeurs de fonds en Pfas dans les sols européens.* Rapport final BRGM/RP-73455-FR-V2, 2025.

[3] ROMERO-HARIOT A. ET AL. – *Surveillance des expositions aux agents chimiques des travailleurs impliqués dans la gestion des sites et sols pollués : état des lieux et préconisations. Références en santé au travail,* 2025, 182, TC 184, pp. 37-60.

Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TC%20184>

[4] INRS – *Logiciel ProtecPo.* Outil n° 28. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil28>

[5] INRS – *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation.* ED 6106. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>

[6] INRS – *Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.* ED 6273. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206273>

[7] IFA – *Technische Regeln für Gefahrstoffe: MAK-Werte 2025 (Règles techniques pour les mesures d'exposition professionnelles aux substances dangereuses).* IFA (Institut fédéral allemand pour la santé et la sécurité au travail), TRGS 900, 2025 (en allemand).

[8] INRS – *Base de données Biotox.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>