Note technique

ENQUÊTE SUR LES PFAS DANS LES ÉTABLISSEMENTS FRANÇAIS : LES POINTS CLÉS À RETENIR

Les substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas) sont des composés chimiques très stables, utilisés depuis la fin des années 1940 dans de nombreux produits industriels et de consommation (textiles, emballages, cosmétiques, mousses anti-incendie…). Malgré leur large usage, les données sur l'exposition professionnelle à ces substances restent limitées. Cet article présente, dans le contexte de la prévention du risque chimique, les résultats d'une enquête réalisée au sein des établissements français potentiellement concernés par la présence ou la manipulation de Pfas.

ANDREA EMILI, AUDREY HUMBERT
INRS, département Métrologie des polluants

Généralités sur les Pfas

Les Pfas, substances per- et polyfluoroalkylées, sont une vaste famille qui regroupe plusieurs milliers de composés fluorés synthétiques. Selon la définition publiée par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 2021 [1], on entend par Pfas « *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-)* ». Des exemples de Pfas très connus sont le PFOA, le PFOS, le PTFE ou le TFA *(Cf. Tableau 1 et Décryptage pp. 5-18 dans ce n°)*. En raison de leur structure chimique, les Pfas ont des propriétés à la fois hydrophobes et hydrophiles et sont très stables grâce aux liaisons carbone-fluor qui sont très fortes. Depuis les années 1950, les Pfas ont été utilisés dans diverses applications industrielles et dans de nombreux produits de consommation courante [2] : surfactants, mousses anti-incendie, réactifs de synthèse et composants de médicaments ou pesticides, produits de revêtement et détachants pour le textile, produits anti-salissures et anti-graisses pour les sols, emballages alimentaires, revêtements non adhérents pour les ustensiles de cuisine, cosmétiques…

Toutefois, des études épidémiologiques et des études *in vitro* ont mis en évidence que certains Pfas peuvent interagir avec le système immunitaire ou le système endocrinien. L'exposition à ces molécules serait aussi associée à des maladies chroniques rénales et des atteintes du foie [3].

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2021

RÉSUMÉ

Les Pfas regroupent des milliers de composés fluorés utilisés depuis la fin des années 1940 pour leurs propriétés hydrophobes, lipophobes et leur stabilité chimique. On les retrouve dans de nombreux produits : mousses anti-incendie, textiles, emballages alimentaires, ustensiles de cuisine… Certains Pfas sont toxiques et classés cancérogènes. Ils se divisent en polymères et non polymères ; ces derniers sont les plus étudiés et réglementés. Une enquête menée en 2024-2025 auprès d'établissements français a révélé une connaissance encore faible sur l'exposition professionnelle aux Pfas. Le repérage est difficile, les fiches de données de sécurité ne mentionnant pas toujours clairement ces substances. La substitution est en cours mais complexe : certains substituts présentent des risques similaires. Peu d'évaluations spécifiques ont été réalisées, et les données de métrologie (analyses d'air ou biologiques) sont rares. La prévention repose sur la substitution quand elle est possible, la mise en place de mesures techniques (captage, ventilation) ou le port d'équipements de protection individuelle. Le contexte réglementaire évolue rapidement et la vigilance reste nécessaire pour éviter de remplacer les Pfas dangereux par d'autres produits potentiellement nocifs.

SURVEY ON PFAS IN FRENCH INSTITUTIONS: KEY POINTS TO KEEP IN MIND

Pfas include thousands of fluorinated compounds that have been used since the end of the 1940s for their hydrophobic and lipophobic properties and their chemical stability. They are found in a wide range of products: fire-fighting foam, textiles, food packaging, kitchen utensils, etc. Some Pfas are toxic and classed as carcinogenic. They are divided into polymeric and non-polymeric compounds, with the latter being the most widely studied and regulated. A survey carried out in 2024-2025 in French institutions revealed knowledge about occupational exposure to Pfas to be persistently low. Identification of exposure can be difficult, as material and safety data sheets do not always clearly mention these substances. The search for substitutes is ongoing but complex, as some proposed alternatives have similar risks. Few specific assessments have been carried out, and we lack metrological data (air or biological analyses). Prevention relies on substitution when possible, in other cases, technical solutions (capture, ventilation) can be implemented or personal protective equipment used. The regulatory context is evolving rapidly, but vigilance remains necessary to avoid replacing hazardous Pfas with other potentially harmful products.

Au niveau réglementaire, plusieurs actions nationales et internationales poussent à leur prise en compte lors de l'analyse des différents milieux environnementaux (Plan d'action interministériel sur les Pfas ; *Cf. Pour en savoir plus)* et des interdictions ou des restrictions sur la mise sur le marché de ces produits sont déjà actées ou en cours de discussion (Proposition de l'ECHA de restriction universelle des Pfas ; *Cf. Pour en savoir plus)*.

Pfas polymères et non polymères

À ce jour, les études sur les Pfas se sont principalement concentrées sur les substances non polymères, c'est-à-dire ne possédant pas de structure macromoléculaire répétitive, typique des polymères. En particulier, les études ont porté sur les acides perfluoroalkylés (PFAA), qui comprennent les acides perfluorocarboxyliques (PFCA), les acides perfluoroalcanesulfoniques (PFSA), ainsi que certains de leurs précurseurs non polymères [4]. Ces Pfas non polymères, en particulier le PFOS, le PFHxS et le PFOA, ont été progressivement retirés de la production et font l'objet de restrictions aux niveaux nationaux et supranationaux [5,6,7].

Les Pfas polymères comprennent les fluoropolymères, les perfluoropolyéthers (PFPE) et les polymères fluorés à chaîne latérale (SCFP) [8]. Les études les concernant sont bien moins nombreuses que pour les Pfas non polymères. Le groupe des fluoropolymères est dominé par le PTFE [9] : avec le FEP, l'ETFE et les copolymères du TFE, ils représentent environ 75 % du marché des fluoropolymères [10]. Ce marché était estimé à environ 330000 tonnes en 2021 au niveau mondial [11] *(Cf. Figure 1)*.

Généralement, les fluoropolymères présentent un contenu résiduel négligeable en monomères et en oligomères, ainsi que peu ou pas de substances lixiviables (c'est-à-dire susceptibles d'être libérées dans l'environnement au contact de l'eau ou d'autres solvants). Cependant, des Pfas de faible masse moléculaire sont utilisés en tant qu'auxiliaires de fabrication (émulsifiants, dispersants et agents tensioactifs au sens large) de certains fluoropolymères ou fluoroélastomères. Ces produits peuvent ainsi être libérés dans l'environnement pendant les phases de fabrication [12].

Les PFPE comme le HFPO-DA (GenX) et l'ADONA ont été utilisés en substitution de certains composés à chaîne longue (PFOS, PFOA…). À ce jour, il existe un manque de publications scientifiques concernant leurs propriétés physico-chimiques, leurs effets toxicologiques potentiels et leurs profils toxicocinétiques [13].

Les SCFP ont été utilisés dans une large gamme de produits commerciaux pour le traitement des tissus, textiles et vêtements, afin de leur conférer des propriétés de déperlance à l'eau et à la graisse, ainsi qu'une résistance aux salissures [14]. Leur dégradation (biotique ou abiotique) peut libérer des groupes Pfas, susceptibles d'évoluer en PFCA ou PFSA dans l'environnement ou les organismes vivants selon des voies bien caractérisées [15].

Les Pfas sur les lieux de travail

Sur les lieux de travail, les Pfas peuvent être présents comme substances en tant que telles, ou bien incorporés dans des mélanges ou des articles finis. Les Pfas fabriqués et vendus par les producteurs

ACRONYME	NOM COMPLET	N° CAS	UTILISATIONS
6:2 FTSA	Sulfonate de fluorotélomère 6:2	27619-97-2	Surfactant, utilisé dans l'industrie automobile et plus particulièrement pour la confection de batteries
ADONA	Acide dodécafluoro-3H-4,8 dioxanononoïque	919005-14-4	Agent tensioactif de remplacement du PFOA dans la fabrication de fluoropolymères
APFO	Pentadécafluorooctanoate d'ammonium	3825-26-1	Sel du PFOA, utilisé dans la fabrication de revêtements anti-taches et résistants à l'eau pour les textiles et les moquettes ; de tuyaux, câbles et joints ; de revêtements antiadhésifs pour ustensiles de cuisine ; et de produits de soins personnels
C604	Acide acétique, 2,2-difluoro-2-{[2,2,4,5-tétrafluoro-5-(trifluorométhoxy)-1,3-dioxolan-4-yl]oxy}	1190931-41-9	Agent de polymérisation et tensioactif dans la production de certains fluoropolymères haute performance (PTFE, copolymères de type FEP, ETFE), utilisé comme substitut au PFOA dans certains procédés industriels de polymérisation émulsionnée aqueuse
ETFE	Copolymère éthylène-tétrafluoroéthylène	25038-71-5	Films et membranes architecturaux (toitures légères, façades), gaines isolantes pour câbles haute performance, revêtements anticorrosion dans l'industrie chimique et photovoltaïque
FEP	Copolymère tétrafluoroéthylène-hexafluoropropylène	25067-11-2	Gaines isolantes de câbles électriques et électroniques, tubes, raccords, revêtements anticorrosion (chimie, pharmacie), revêtements antiadhésifs (similaires au PTFE mais thermoformables), pièces moulées pour équipements en environnements agressifs
FEPM	Copolymère tétrafluoroéthylène-propylène	–	Joints toriques et bagues d'étanchéité dans l'industrie pétrolière et gazière (haute température et milieu agressif), applications chimiques (pompes, vannes) exposées à des bases fortes et solvants, applications automobiles et aéronautiques nécessitant une résistance élevée à la chaleur et aux fluides, isolation électrique
FFKM	Perfluoroelastomère	–	Joints statiques et dynamiques dans des environnements chimiques extrêmes industrie pharmaceutique, nucléaire, etc.)
FKM	Copolymère HFP-VDF	–	Joints, membranes, garnitures pour automobile, aéronautique, industrie chimique
HFP	Hexafluoropropylène	116-15-4	Utilisé dans FKM, FEP, THV
HFPO-DA	Acide dimère de l'oxyde d'hexafluoropropylène	13252-13-6	Agent de polymérisation remplaçant le PFOA dans le procédé GenX
PFA	Perfluoroalkoxy ou copolymère de tétrafluoro-éthylène et de perfluoroéther de propyle et de vinyle	26655-00-5	Revêtements antiadhésifs, isolation électrique, composants pour chimie de haute pureté
PFBE	Perfluorobutyléthylène	19430-93-4	Fluides diélectriques, fluides caloporteurs, solvants spécialisés
PFBS	Acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5	Traitement des textiles, papiers, agents tensioactifs, mousses anti-incendie
PFDA	Acide perfluorodécanoïque	335-76-2	Agents tensioactifs, traitements textiles et revêtements anti-taches
PFDoDA	Acide perfluorododécanoïque	307-55-1	Agents de traitement anti-taches, textiles techniques
PFHpA	Acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	Agents de traitement anti tâches, textiles techniques et utilisés comme revêtements antiadhésifs
PFHxA	Acide perfluorohexanoïque	307-24-4	Substitut à chaîne courte dans des revêtements et produits résistants aux taches
PFHxS	Acide perfluorohexane sulfonique	355-46-4	Mousses anti-incendie, traitements anti-taches pour textiles, papiers
PFIB	Perfluoroisobutylène	382-21-8	Production de produits avancés à base de fluoropolymères, allant des revêtements antiadhésifs aux composants complexes des appareils électroniques
PFOA[a, b, c, 1]	Acide perfluorooctanoïque	335-67-1	Fabrication de fluoropolymères (ex : PTFE), tensioactifs industriels
TPD-PFEMA	Méthacrylate de 2-(perfluorohexyl)éthyle	2144-53-8	Intermédiaire pour la production d'agents protecteurs de surface
PFOS[a, b, c, 2]	Acide perfluorooctane sulfonique	1763-23-1	Mousses extinctrices, textiles, papiers anti-graisse, traitement de surface
PTFE	Polytétrafluoroéthylène (Téflon)	9002-84-0	Anti-adhésifs (poêles, revêtements), joints, étanchéité, isolation
PVDF	Fluorure de polyvinylidène	24937-79-9	Membranes, batteries lithium-ion, câblage, revêtements anticorrosion
TFA	Acide trifluoroacétique	76-05-1	Synthèse pharmaceutique, solvant en chromatographie, intermédiaire dans la production de composés fluorés. Produit de dégradation stable de nombreux autres Pfas plus complexes
TFE	Tétrafluoroéthylène	116-14-3	Monomère pour PTFE, FEP, PFA, ETFE
THV	Terpolymère TFE-HFP-VDF	–	Films souples transparents, câblage, optoélectronique
VDF	Fluorure de vinylidène	75-38-7	Monomère pour PVDF, THV, FKM

↑TABLEAU 1 Liste des Pfas cités dans l'article (acronymes, noms complets, n° CAS et utilisations).
[a] Classification CLP : cancérogène de catégorie 2 (cancérogène suspecté). Voir : Classification CLP issue du règlement (CE) 1272/2008 modifié (Cf. Pour en savoir plus).
[b] Classification CLP : toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé). [c] Classification CLP : toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou via l'allaitement. [1] Classification du CIRC : Groupe 1 (cancérogène pour l'humain). Voir : Monographie du CIRC (Cf. Pour en savoir plus).
[2] Classification du CIRC : Groupe 2B (peut-être cancérogène).

→

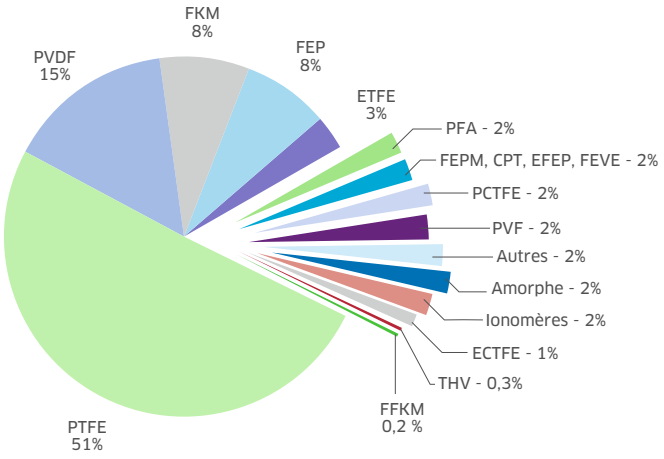
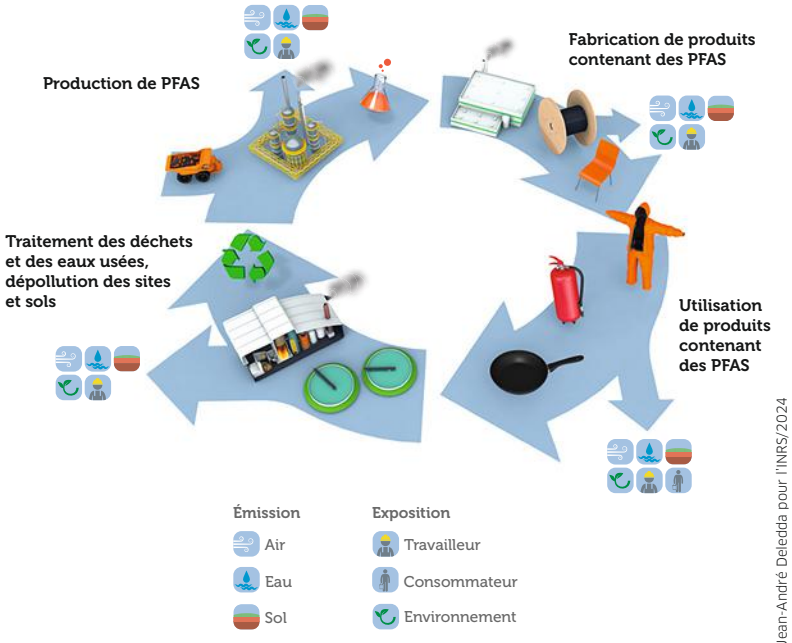


FIGURE 1 Estimation du marché mondial et des principaux fluoropolymères commerciaux en 2021 *(d'après Korzeniowski et al., 2022).*



© Jean-André Delecda pour l'INRS/2024

FIGURE 2 Cycle de vie des Pfas.

de substances chimiques se déclinent en différentes formes (granulés, poudres fines, dispersions aqueuses) qui dépendent du mode de fabrication (comme la polymérisation en émulsion ou en suspension) et peuvent contenir des impuretés issues du processus de fabrication. Certains Pfas peuvent être produits sans recourir à des auxiliaires de fabrication, tandis que d'autres, tels que le PTFE en poudre fine et le PVDF, nécessitent l'utilisation d'auxiliaires à base de Pfas lors de la polymérisation.

Plusieurs fabricants d'articles finis intègrent des Pfas dans leurs produits : par exemple, dans les rubans en PTFE, les vêtements imperméables, les ustensiles de cuisine, etc. Ces produits sont ensuite utilisés soit en milieu professionnel soit par les consommateurs. En fin de vie, ces produits sont traités par la filière la plus adaptée à leur nature (déchets ménagers, déchets d'équipements électriques et électroniques… ; *Cf. Figure 2).*

Les risques d'exposition professionnelle diffèrent selon les propriétés des substances et leurs conditions de mise en œuvre. L'exposition peut se produire par voie cutanée, par inhalation ou par ingestion s'il y a un contact du travailleur avec ces substances. Ces risques doivent être évalués au titre de la prévention du risque chimique *(Cf. Décryptage pp. 5-18).*

Bien que les secteurs potentiellement concernés par l'exposition aux Pfas soient nombreux, peu de données sont disponibles [16,17,18]. Une revue de littérature sur la période 1980-2021 réalisée par

ENCADRÉ

L'ENQUÊTE AUPRÈS DES ENTREPRISES : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

L'enquête a été réalisée en suivant la méthodologie décrite dans la fiche MétroPol de l'INRS correspondante*, dans le respect du règlement général sur la protection des données (RGPD). Dans un premier temps, une recherche bibliographique a permis de faire un état des connaissances sur les substances concernées, les secteurs d'activité impliqués, les procédés de fabrication, l'utilisation des Pfas et l'exposition associée. Des échanges avec les producteurs de Pfas, ainsi que deux visites d'établissements choisis parmi les cinq actifs en France en 2024, ont permis d'acquérir des informations terrain utiles à l'élaboration d'un questionnaire en ligne destiné aux entreprises des secteurs ciblés. L'invitation à répondre au questionnaire a été transmise par courrier électronique, à partir d'adresses acquises auprès de fournisseurs commerciaux. Les établissements concernés par le questionnaire se répartissent en trois catégories : les producteurs de Pfas, les fabricants de produits contenant des Pfas et la filière de traitement de déchets (y compris les eaux usées ; *Cf. Figure 2).*

Le questionnaire comportait trois parties :

- administrative : secteur d'activité, effectif de l'établissement…
- descriptive : substances utilisées, quantités, procédés…
- technique : démarche d'évaluation du risque chimique, mesures de prévention…

Avant son déploiement, le questionnaire a été soumis pour validation à des chercheurs travaillant sur les Pfas (toxicologues et métrologues), des entreprises et des organisations professionnelles.

**Voir : INRS* – Guide Méthodologique MétroPol – Mise au point d'une étude de filière *(Cf. Pour en savoir plus).*

Christensen et Calkins [16] a identifié 92 articles sur l'exposition professionnelle aux Pfas, dont environ 60 % concernent les travailleurs de la production de produits fluorés ou les premiers intervenants (pompiers, urgentistes…). La plupart de ces études ont mesuré les Pfas dans le sang : les Pfas à longues chaînes alkyles, en particulier le PFOA et le PFOS, étaient les plus fréquemment étudiés. Cependant, au cours des 15 dernières années, les recherches ont de plus en plus porté sur les Pfas à chaîne courte, les précurseurs et les substances de substitution.

La synthèse réalisée par Paris-Davila *et al.* [17] a identifié neuf articles qui rapportent des mesures d'exposition professionnelle aux Pfas dans l'atmosphère des lieux de travail. Le fartage de skis se caractérise par les niveaux d'exposition – aux PFOA, PFHxA, PFDoDA, PFDA – les plus élevés (jusqu'à 1 µg/m^3). Au contraire, le cirage de sols présente les niveaux les plus faibles, souvent inférieurs à la limite de détection. Les autres secteurs investigués étaient la fabrication ou le commerce de textiles et les pompiers.

Actuellement, des valeurs limites d'exposition professionnelle, établies pour protéger les travailleurs contre les risques liés aux expositions en milieu de travail, existent pour quatre Pfas au niveau mondial [16] : trois aux États-Unis (0,01 mg/m^3 sur 8 h pour l'APFO ; 1 007 mg/m^3 sur 8 h pour le PFBE ; 0,082 mg/m^3 valeur plafond pour le PFIB) et une en Allemagne pour le PFOS (0,01 mg/m^3 sur 8 h ; voir BAuA – TRGS 900 ; *Cf. Pour en savoir plus)*.

L'enquête sur les Pfas : méthodologie et choix des secteurs d'activité

Afin de combler le manque de connaissances sur l'exposition professionnelle aux Pfas en France et de renforcer la protection des travailleurs face à ces substances persistantes et potentiellement dangereuses, une enquête a été réalisée auprès d'établissements français *(Cf. Encadré)*. Elle visait principalement à identifier : les secteurs d'activité mettant en œuvre les Pfas ; les substances, leurs utilisations et les procédés de fabrication concernés ; les produits de substitution ; le contexte d'exposition ; les démarches d'évaluation du risque, des expositions professionnelles et les mesures de prévention et de protection mises en œuvre. Dans le cadre de l'enquête, un questionnaire a été diffusé à cinq reprises, entre fin 2024 et début 2025 afin d'optimiser le taux de réponse.

Le choix des secteurs d'activité à interroger a été

Préparation de peintures dans un garage.

© Gaël Kerbaol / INRS / 2017

MACRO-SECTEURS D'ACTIVITÉ	SECTEURS D'ACTIVITÉ RETENUS POUR LE QUESTIONNAIRE
Industries extractives	Extraction de houille et de lignite
	Extraction d'hydrocarbures
	Extraction de minerais métalliques
	Autres industries extractives
	Services de soutien aux industries extractives
TULAC (textile, ameublement, cuir, vêtements et tapis)	Fabrication de textiles
	Industrie de l'habillement
	Industrie du cuir et de la chaussure
	Réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques
Matériaux en contact avec des aliments et emballages	Industrie du papier et du carton
Raffinage du pétrole	Cokéfaction et raffinage
Industrie chimique	Industrie chimique
Substances actives dans les PPP, BP et MP (produits phytopharmaceutiques, biocides, médicaments)	Industrie pharmaceutique
Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique
Matériaux de construction	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques
Placage métallique et fabrication de produits métalliques	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et équipements
Industrie électrique et électronique	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques
	Fabrication d'équipements électriques
Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs	Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs
Transports	Industrie automobile
	Fabrication d'autres matériels de transport
Autres industries manufacturières	Autres industries manufacturières
Secteur de l'énergie	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné
Déchets	Collecte et traitement des eaux usées
	Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération
	Dépollution et autres services de gestion des déchets

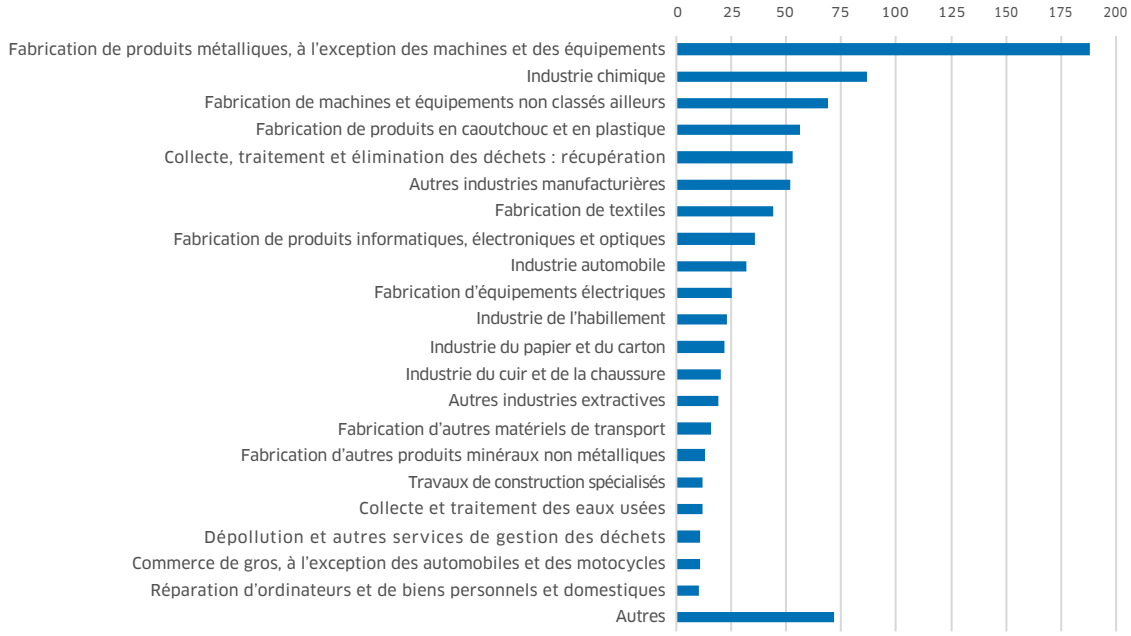
↑TABLEAU 2
Secteurs d'activité retenus pour le questionnaire.

effectué sur la base des informations publiées par l'Agence européenne pour les produits chimiques (Echa) dans sa proposition de restriction universelle des Pfas, et par Glüge *et al.* [19] dans leur article de synthèse. Ces derniers avaient conclu qu'il existait plus de 200 catégories d'utilisation pour plus de 1 400 Pfas. Globalement, 26 secteurs d'activité ont été retenus pour le questionnaire, regroupés dans les 15 macro-secteurs proposés par l'Echa *(Cf. Tableau 2)*.

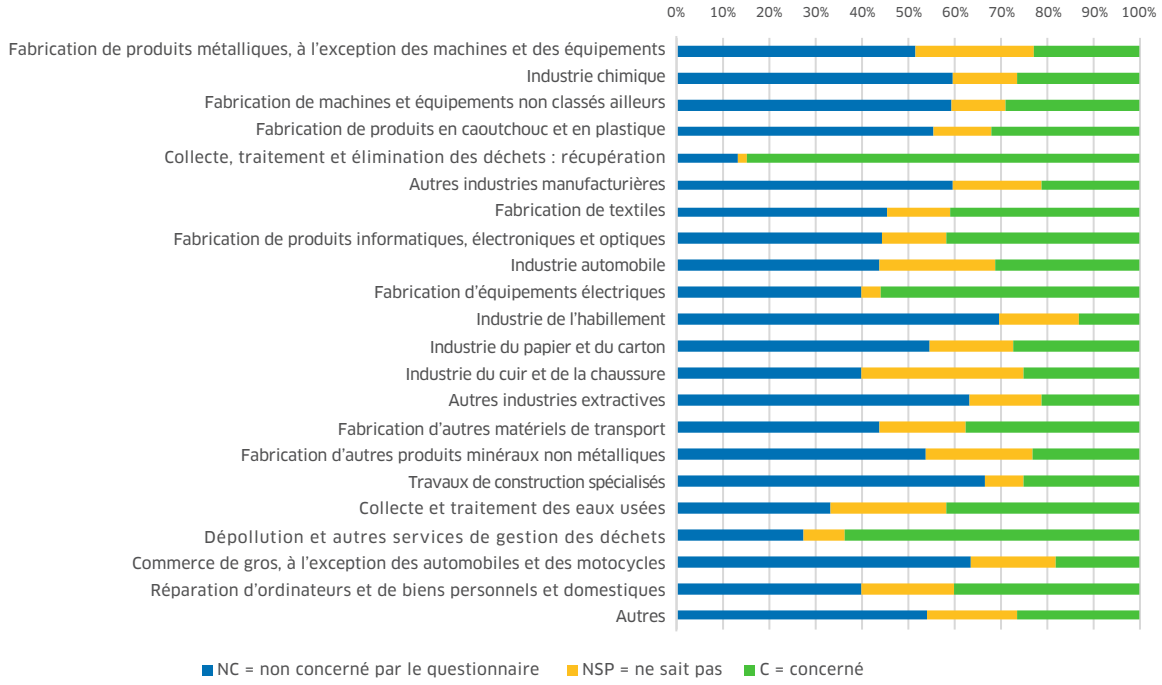
Résultats généraux de l'enquête

Au total, 25 659 courriels ont été envoyés. Après les relances, 1 644 accès au questionnaire ont été comptabilisés (soit 6,4 % des établissements contactés) et 926 questionnaires remplis ont été collectés, dont 44 exclus de l'analyse car jugés non fiables (par exemple, secteur d'activité inexistant). Ce taux de réponse étant insuffisant pour procéder à un redressement, les résultats ne sont pas extrapolables à l'ensemble des établissements des secteurs ciblés.

La *Figure 3* présente la répartition des répondants par secteur d'activité : la « Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements » regroupe le plus grand nombre de répondants (n = 188). Cela peut s'expliquer par le fait que ce secteur, pour lequel le plus grand nombre d'adresses mail était disponible pour le sondage, a été le plus sollicité par le questionnaire. Les autres secteurs avec un nombre de répondants supérieur à 50 sont : l' « Industrie chimique » (n = 87), la « Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs » (n = 69), la « Fabrication de produits en caoutchouc



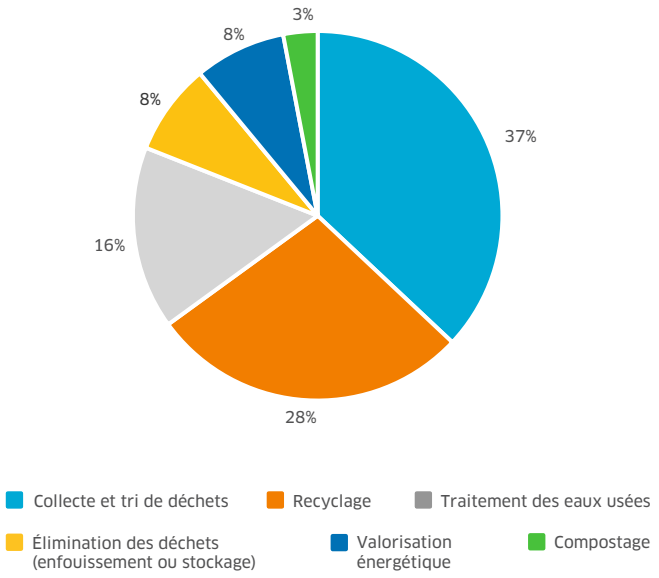
← FIGURE 3
Nombres de répondants par secteur d'activité *(la catégorie « Autres » inclut les secteurs ayant moins de dix répondants).*



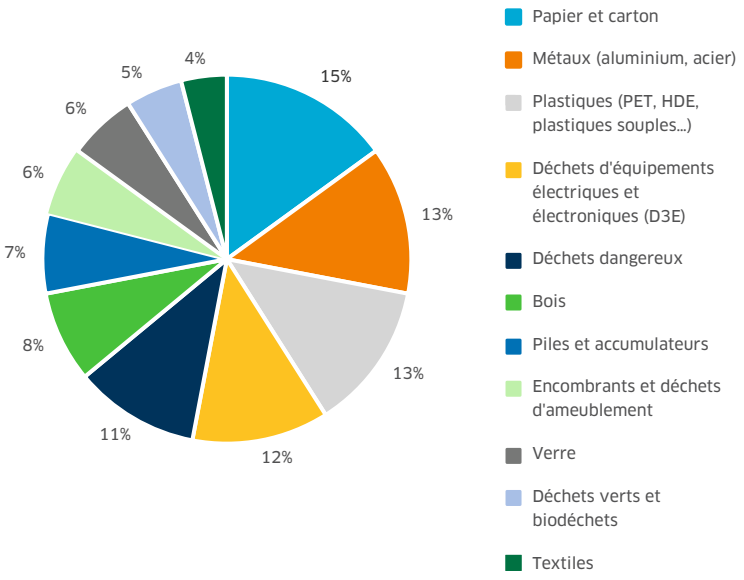
← FIGURE 4
Distribution des répondants par secteur d'activité : NC = non concerné par le questionnaire ; NSP = ne sait pas ; C = concerné *(la catégorie « Autres » inclut les secteurs ayant moins de dix répondants).*

et en plastique » (n = 56), la « Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération » (n = 53) ; et les « Autres industries manufacturières » (n = 52). Dans les secteurs « Autres », l' « Industrie pharmaceutique » et la « Réparation et installation de machines et d'équipements » sont les plus représentées (n = 9). Globalement, 51 % des répondants se disent « *non concernés* » (NC) par le questionnaire, 32 % « *concernés* » (C) et 17 % « *ne sait pas* » (NSP). Le taux plutôt élevé de NSP peut relever à la fois de difficultés dans le repérage des Pfas dans les produits utilisés (comme l'absence de mention spécifique « Pfas » dans les fiches de données de sécurité : FDS) et d'une méconnaissance du sujet, qui s'avère complexe en raison du nombre élevé de substances. La *Figure 4* illustre, par secteur d'activité, la répartition des répondants selon les catégories C/NC/NSP : la « Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération » est le secteur avec la plus grande proportion de répondants se disant concernés par le questionnaire (85 %), suivi

→



↑ **FIGURE 5** Répartition des répondants de la filière de traitement des déchets.



↑ **FIGURE 6** Répartition des répondants dans le recyclage des déchets.

par la « Dépollution et autres services de gestion des déchets » (64 %) et la « Fabrication d'équipements électriques » (56 %). Dans les secteurs « Autres », 33 % des répondants du secteur de la « Réparation et installation de machines et d'équipements » se déclarent concernés, contre aucun dans le secteur pharmaceutique.

Compte tenu de leur large utilisation dans les produits de consommation courante et dans des applications industrielles, les Pfas sont susceptibles de se retrouver tout au long de la filière de traitement des déchets. Certaines sous-filières sont potentiellement plus à risque, en raison des utilisations avérées de ces substances : recyclage du papier et carton, déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E), textiles, piles et accumulateurs, plastiques… Toutefois, leur repérage sur les lieux de travail n'est pas simple. Par conséquent, un biais est possible dans les réponses données par les établissements de cette filière : les établissements pourraient supposer qu'ils sont concernés par la présence de Pfas, même sans preuve concrète, ou ils pourraient manquer de données ou d'outils nécessaires pour évaluer précisément leur présence. La *Figure 5* montre la répartition des répondants de la filière de traitement des déchets et la *Figure 6* détaille les sous-filières du recyclage.

Évaluation du risque chimique

Les Pfas, comme toute autre substance chimique, s'inscrivent pleinement dans la démarche de prévention du risque chimique (voir : Dossier Risques chimiques INRS ; *Cf. Pour en savoir plus)*. Une fois les risques identifiés, la priorité doit être donnée à l'élimination ou à la substitution des substances ou procédés dangereux. Lorsqu'il s'agit de produits CMR, leur remplacement est obligatoire dès lors qu'une alternative existe.

Les résultats du questionnaire montrent que, s'il y a bien une démarche d'évaluation du risque chimique en œuvre chez les répondants, dans la majorité des cas (92 %), elle n'est pas spécifique aux Pfas. Parmi les établissements réalisant une évaluation spécifique aux Pfas, environ 83 % déclarent le faire depuis moins de cinq ans.

La diversité des substances incluses dans la définition des Pfas empêche de considérer un « risque Pfas » unique. La dangerosité est avérée pour certains composés ; d'autres présentent uniquement une grande persistance dans l'environnement, sans autre danger identifié à ce jour. Le PFOA et PFOS sont classés reprotoxiques et susceptibles d'être cancérigènes par la classification CLP et cancérogènes en groupes 1 et 2B par le CIRC, respectivement. Trois autres Pfas – HFPO-DA, PFBS et PFHpA – ont été inscrits entre 2019 et 2023 dans le système d'enregistrement des substances chimiques de l'UE (Reach ; *Cf. En savoir plus)* parmi les substances extrêmement préoccupantes (SVHC) en raison de leur persistance, toxicité et mobilité dans l'environnement et de propriétés similaires à celles des substances CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques ; voir Page de l'ECHA sur les Pfas ; *Cf. En savoir plus)*. À noter que le HFPO-DA est utilisé comme substitut du PFOA dans la production de fluoropolymères et le PFBS comme remplaçant du PFOS.

Repérage des Pfas

L'identification des produits dangereux au sein des entreprises est un pilier de la démarche d'évaluation des risques. Cependant, les établissements rencontrent souvent des difficultés lors du repérage des

←FIGURE 7
Le « top six » des Pfas d'après plus de 2 millions de déclarations de fournisseurs* (PTFE, PVDF, TPD-PFEMA, sel de PFBS, FEP, sel de PFOA).
***Voir : Assent – Staying ahead of 2025 Pfas risks infographic* (Cf. Pour en savoir plus).**

Pfas. Un guide simplifié au repérage avait été mis à disposition des répondants au questionnaire. De même, pour faciliter l'identification des Pfas utilisés ou traités, les répondants pouvaient sélectionner les substances dans une liste préremplie qui reprenait les Pfas figurant dans les arrêtés du 20 juin 2023 et du 31 octobre 2024 (*Cf. Pour en savoir plus)* relatifs à leur analyse dans les rejets des ICPE. Toutefois, dans la majorité des cas (93 % pour les matières premières et 85 % pour les produits finis), les répondants ont saisi eux-mêmes les Pfas, car ils n'apparaissaient pas dans cette liste.

La majorité des fabricants de produits contenant des Pfas utilisent des fluoropolymères, notamment le PTFE (23 % des répondants) et le PVDF (5 % des répondants). Parmi les autres substances citées, on retrouve des fluoroélastomères de type FKM/FFKM/FEPM (comme le copolymère HFP-VDF et le terpolymère TFE-HFP-VDF), des fluorotélomères (6:2 FTSA, autres Pfas de formule chimique C6F13), des fluorosurfactants utilisés comme auxiliaires de fabrication, et des hydrofluoroléfines (HFO). Cette prévalence de fluoropolymères est en accord avec leurs usages multiples dans de nombreuses industries *(Cf. Figure 7)*.
Dans le traitement des déchets, le repérage des Pfas s'avère compliqué. Seulement 2 % des répondants déclarent avoir déjà reçu une FID (fiche d'identification du déchet) mentionnant la présence de Pfas. Par ailleurs, 3 % des répondants disent réaliser des analyses de Pfas dans les déchets traités et 13 % prévoient de le faire dans le futur.

Substitution des Pfas

Les résultats du questionnaire témoignent d'un marché des Pfas en pleine évolution. Les répondants ont donné quatre grandes motivations par rapport à l'arrêt éventuellement envisagé dans l'utilisation des Pfas : leur engagement environnemental et écoresponsable ; des contraintes ou évolutions réglementaires ; des limites d'approvisionnement dues aux décisions des fournisseurs ; une amélioration ou une simplification technique qui rend superflue l'utilisation de ces produits.
Aux États-Unis, les producteurs de produits fluorés ont commencé dès l'an 2000 à éliminer progressivement les Pfas à chaîne alkyle longue, tels que le PFOA et le PFOS [17] et ce changement a effectivement permis de réduire leurs émissions [20].
En France, la loi n° 2025-188 du 27 février 2025 *(Cf. Pour en savoir plus)*, visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées, interdit à partir de 2026 l'utilisation des Pfas dans les produits cosmétiques, de fartage et les textiles.
À mesure que les industries ont substitué les Pfas, y compris ceux considérés comme moins persistants ou moins nocifs, la diversité des Pfas utilisés s'est accrue. Par exemple, les Pfas de faible masse moléculaire employés comme agents émulsifiants dans la fabrication des fluoropolymères ont été substitués par d'autres Pfas présentant des propriétés physico-chimiques similaires, notamment en termes de tensioactivité et de résistance à la dégradation. Parmi les substituts notables, on retrouve l'HFPO-DA

→

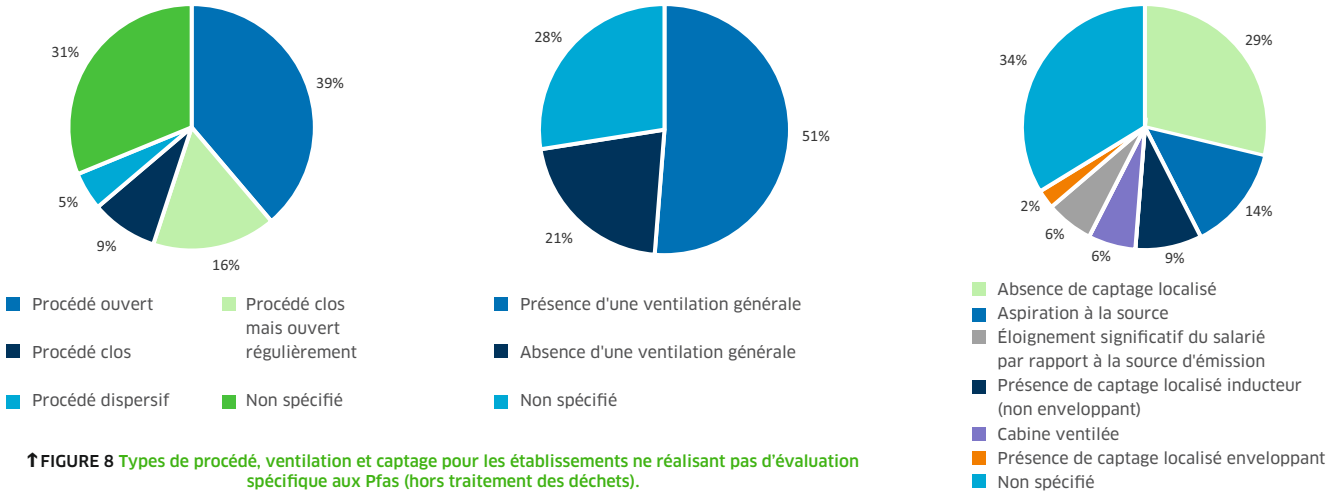


FIGURE 8 Types de procédé, ventilation et captage pour les établissements ne réalisant pas d'évaluation spécifique aux Pfas (hors traitement des déchets).

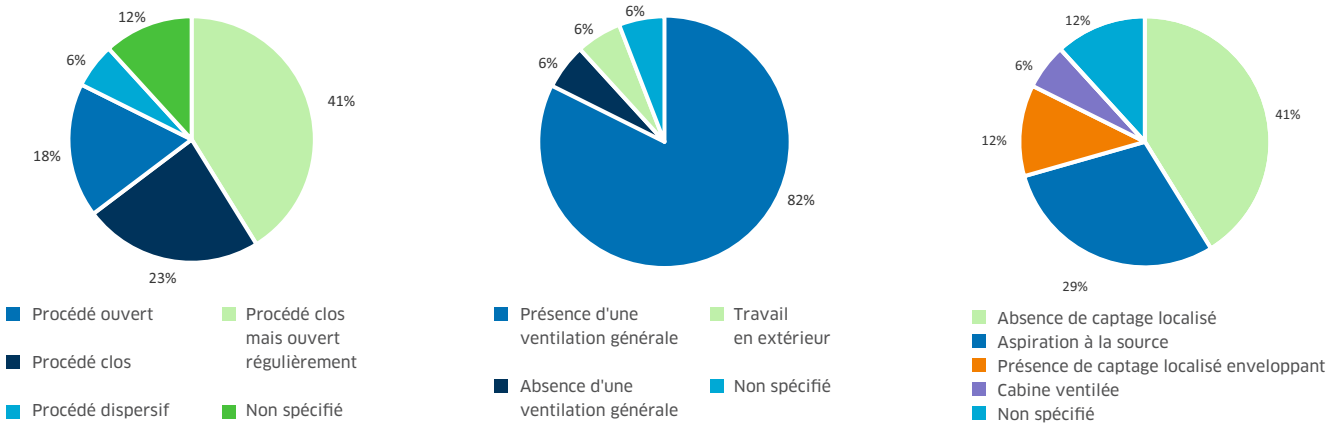


FIGURE 9 Types de procédé, ventilation et captage pour les établissements réalisant une évaluation spécifique aux Pfas (hors traitement des déchets).

(GenX), le C604, l'ADONA et divers sels d'ammonium. Ces substituts se sont avérés présenter des risques similaires en termes de pollution, de bioaccumulation et de toxicité, et certains sont désormais classés comme substances extrêmement préoccupantes dans l'Union européenne.

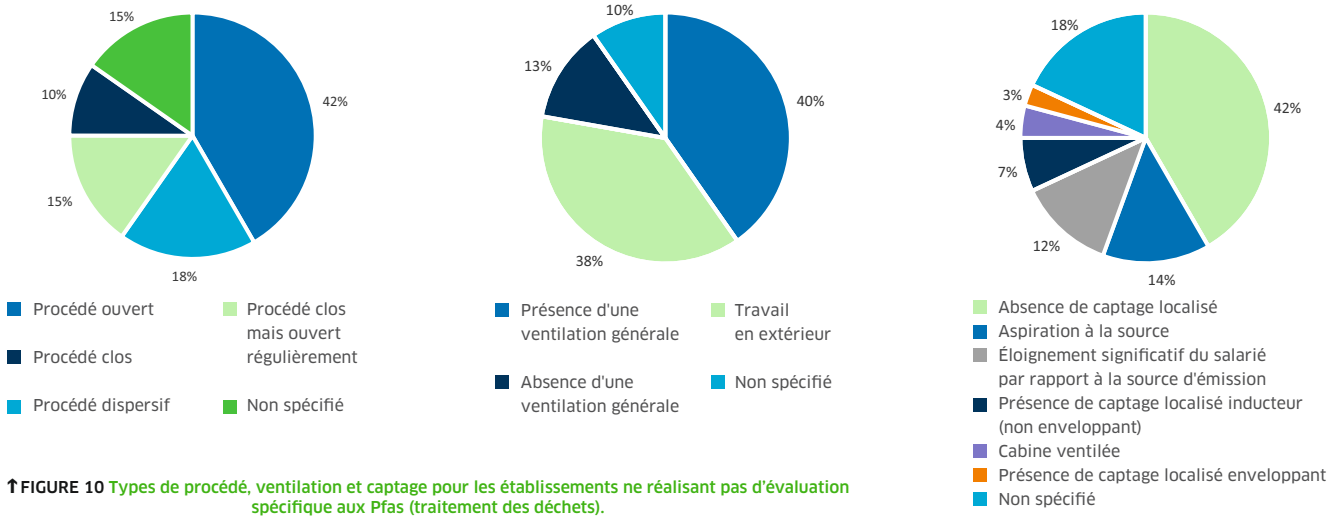
Mesures de prévention

Lorsque la suppression ou la substitution des substances chimiques est impossible, des mesures doivent être mises en œuvre afin de réduire au maximum les risques. Les actions mises en place peuvent être d'ordre technique ou organisationnel, en privilégiant les dispositifs de protection collective. Le recours aux équipements de protection individuelle (EPI) ne doit intervenir qu'en complément, lorsque les mesures de protection collective s'avèrent insuffisantes ou inapplicables.

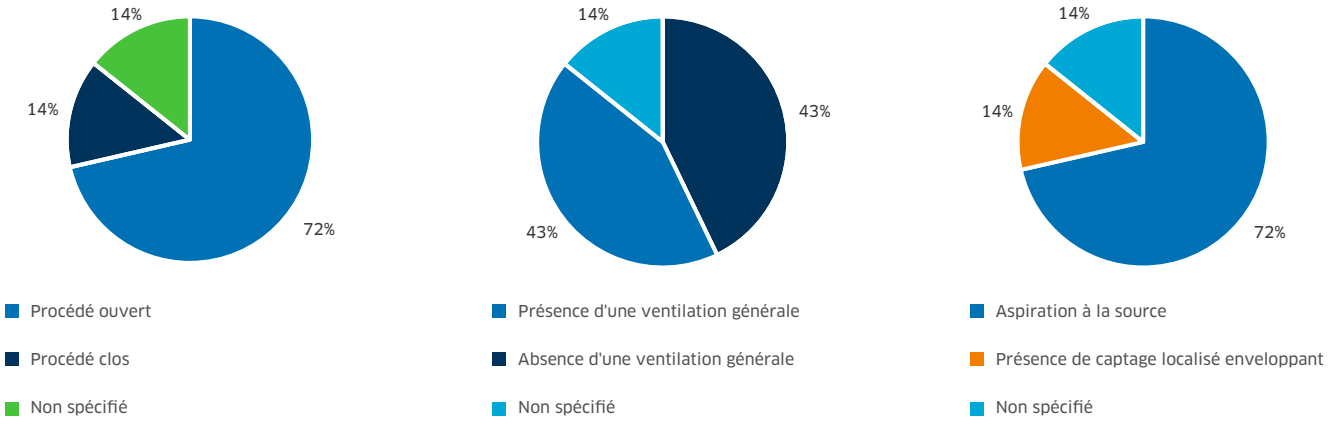
La majorité des répondants (39 % ; hors traitement des déchets) qui ne réalisent pas une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent mettre en œuvre des procédés de type ouvert *(Cf. Figure 8)*. Dans 51 % des cas, une ventilation générale est présente, et, en comptabilisant les différents types de captages mis en place par les répondants (aspiration à la source, cabine ventilée, captage localisé enveloppant et captage localisé inducteur), un captage est présent dans 31 % des cas.

La majorité (64 %) des répondants qui réalisent une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent utiliser un procédé clos (23 %), ou clos mais ouvert régulièrement (41 % ; *Cf. Figure 9)*. Dans 82 % de cas, une ventilation générale est présente ; et un captage dans 47 % des réponses.

Dans les filières de traitement de déchets, la majorité des répondants (60 %) qui ne réalisent pas une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent mettre en œuvre des procédés de type ouvert (42 %) ou dispersif (18 % ; *Cf. Figure 10)*. Dans la majorité des cas (77 %), une ventilation générale est présente (40 %) ou le travail s'effectue à l'extérieur (37 %). Le captage est présent dans 28 % des cas et dans 12 % des cas, la



↑FIGURE 10 Types de procédé, ventilation et captage pour les établissements ne réalisant pas d'évaluation spécifique aux Pfas (traitement des déchets).



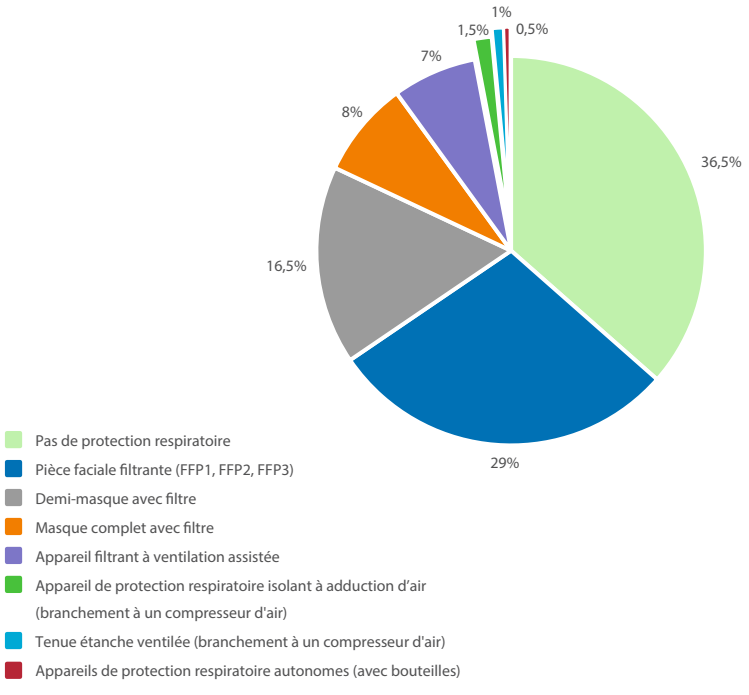
↑FIGURE 11 Types de procédé, ventilation et captage pour les établissements réalisant une évaluation spécifique aux Pfas (traitement des déchets).

mesure de prévention mise en œuvre est l'éloignement du salarié.

La majorité (72 %) des répondants de la filière de traitement des déchets qui réalisent une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent utiliser un procédé ouvert *(Cf. Figure 11)*. Une ventilation générale est présente dans 43 % des cas, et une aspiration à la source dans 72 % des cas.

La prise en compte des Pfas dans l'évaluation du risque semble ainsi avoir une incidence sur la mise en place de mesures de protection collective. Toutefois, le faible nombre d'établissements qui déclarent réaliser une démarche spécifique aux Pfas ne permet pas de généraliser ce constat.

En ce qui concerne les appareils de protection respiratoire (APR ; *Cf. Figure 12)*, 37 % des répondants déclarent ne pas utiliser d'APR, 29 % des pièces faciales filtrantes (FFP1, FFP2, FFP3) et 17 % des demi-masques avec filtre. Des APR plus protecteurs sont utilisés dans 18 % des cas. Le port de gants est prévu par 72 % des répondants, et le port de lunettes par 65 %.



↑FIGURE 12 Appareils de protection respiratoire utilisés.

Évaluation des expositions : métrologie et biométrologie

Seulement 4 % des répondants déclarent avoir déjà réalisé des prélèvements atmosphériques de Pfas, mais 10 % prévoient de le faire dans le futur, soit dans le cadre d'une démarche volontaire, soit en cas de changements réglementaires. En ce qui concerne les prélèvements biologiques, 4 % des répondants ont déjà réalisé des dosages de Pfas et 6 % prévoient de le faire dans le futur, en particulier dans le cadre de la mise en place d'une surveillance biologique des salariés (voir le site de l'INRS ; *Cf. Pour en savoir plus*).

Conclusions et recommandations

L'enquête présentée dans cet article a permis de mettre en évidence un certain nombre de points clés concernant les Pfas, par le biais d'informations provenant d'établissements français. Tout d'abord, bien que les Pfas soient très médiatisés sur les volets environnemental et sanitaire, l'exposition professionnelle à ces substances est encore méconnue. Le repérage des Pfas s'avère complexe : il n'est pas évident, notamment pour un non-expert, de distinguer entre de « simples » produits fluorés et des Pfas, surtout en l'absence d'une indication claire sur leur présence dans les FDS qui accompagnent les produits chimiques. Toutefois, comme tout autre produit chimique, les Pfas doivent être pris en compte dans l'évaluation du risque et traités conformément aux principes généraux de prévention des risques chimiques. Pour leur bonne prise en compte, il est nécessaire de disposer d'aides au repérage, qui pourraient être spécifiques à chaque secteur en raison du grand nombre de substances et d'utilisations. Dans la filière des déchets, une meilleure circulation de l'information entre les différents acteurs apparaît nécessaire. Des ressources en ligne existent pour aider les préventeurs à les repérer (tel le *Chemsec Pfas Guide ; Cf. Pour en savoir plus)* et à obtenir des informations sur leur toxicité (voir : *Pfas Tox Database; Cf. Pour en savoir plus)*.

Compte tenu du nombre limité de répondants, les résultats de l'enquête ne peuvent être considérés comme représentatifs de l'ensemble des établissements des secteurs concernés, mais ils mettent en évidence des actions déjà engagées ou achevées par certains d'entre eux en matière de substitution des Pfas. Au-delà des démarches volontaires, l'interdiction de certains Pfas nécessite l'emploi d'autres substances qui peuvent être aussi des Pfas. Toutefois, du point de vue de la prévention, il faut rester vigilant à ne pas substituer un produit avec un autre produit ayant le même profil de risque ou, paradoxalement, un profil moins favorable. Pour aider les entreprises à bien choisir lors de leurs efforts de substitution, l'Ineris met à disposition sur son portail des documents de référence par secteur d'activité (électronique, textile, emballages alimentaires… ; voir le site de l'Ineris ; *Cf. Pour en savoir plus)*. De même, plusieurs documents sont disponibles sur le site de l'OCDE (*Cf. Pour en savoir plus)*. La métrologie, biologique ou d'atmosphère, est un outil qui permet d'objectiver la présence et les niveaux de concentration des substances chimiques dans l'atmosphère des lieux du travail ou dans

POUR EN SAVOIR +

Par ordre d'apparition dans l'article :

- CLP – *Règlement (CE) 1272/2008 modifié.* Accessible sur : https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/classification-packaging-and-labelling-of-chemical-substances-and-mixtures.html
- CIRC – *Monographie.* Accessible sur : https://www.iarc.who.int/fr/news-events/iarc-monographs-evaluate-the-carcinogenicity-of-perfluorooctanoic-acid-pfoa-and-perfluorooctanesulfonic-acid-pfos/
- *Plan d'action interministériel sur les Pfas.* Accessible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-daction-interministeriel-pfas
- ECHA – *Proposition de restriction universelle des Pfas.* Accessible sur : https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas
- BAuA – *TRGS 900 – Limites d'exposition professionnelle.* Accessible sur : https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900
- INRS – *Guide Méthodologique MétroPol. Mise au point d'une étude de filière.* Accessible sur : https://www.inrs.fr/dam/jcr:20c45af3-d400-4b15-94fc-9805b698e4f3/metropol-etude-filiere.pdf
- INRS – *Dossier risques chimiques.* Accessible sur : https://www.inrs.fr/risques/chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html
- *Enregistrement des substances chimiques dans l'UE.* Accessible sur : https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_fr.htm
- ECHA – *Substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas).* Accessible sur : https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas
- 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
- 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
- Assent – *Staying ahead of 2025 Pfas risks.* Accessible sur : https://www.assent.com/wp-content/uploads/2024/09/S-Infographic-Staying_Ahead_of_2025_Pfas_Risks-PC-IN-240930.pdf
- 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
- INRS – *Surveillance biologique des expositions aux agents chimiques.* Accessible sur : https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/surveillance-biologique-exposition.html
- Chemsec – *Pfas Guide.* Accessible sur : https://pfas.chemsec.org
- *Pfas-Tox Database.* Accessible sur : https://pfastoxdatabase.org
- Ineris – *Substitution des composés per- et polyfluoroalkylés (Pfas) et des substances persistantes, mobiles et toxiques.* Accessible sur : https://substitution-perfluores.ineris.fr/fr
- OCDE – *Risk management, risk reduction and sustainable chemistry: Pfas.* Accessible sur : https://www.oecd.org/en/topics/risk-management-risk-reduction-and-sustainable-chemistry.html

l'organisme des salariés. Peu d'établissements ayant participé au questionnaire disposent de méthodes d'évaluation et de surveillance des expositions individuelles aux Pfas et une minorité se dit intéressée par la réalisation de mesures ou l'intégration d'une démarche d'évaluation des expositions professionnelles dans le futur. L'absence de méthodes standardisées de prélèvement et d'analyse limite les possibilités de caractérisation des expositions professionnelles aux Pfas et rend difficile une cartographie des expositions qui puisse mettre en évidence, au-delà des risques potentiels, les secteurs ou les utilisations qui présentent les risques majeurs. Des efforts en ce sens s'avèrent donc nécessaires. Enfin, il convient de souligner que le « paysage des Pfas » évolue rapidement sous l'effet des dynamiques du marché et des pressions réglementaires. Par exemple, depuis le lancement de cette enquête, deux établissements français producteurs de Pfas sur les cinq recensés ont cessé leur activité. Dans ce contexte en mutation, l'évaluation des risques et des expositions professionnelles doit intégrer et anticiper ces évolutions, car les Pfas utilisés aujourd'hui pourraient ne plus l'être demain. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] OCDE – *Reconciling terminology of the universe of per- and polyfluoroalkyl substances: recommendations and practical guidance.* OECD Publishing, 2021, coll. OECD series on risk management of chemicals. Accessible sur : https://doi.org/10.1787/e458e796-en

[2] GAINES L.G.T. – Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a literature review. *American journal of industrial medicine,* 2023, 66 (5), pp. 353-378. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ajim.23362

[3] FENTON S.E. *ET AL.* – Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environmental toxicology and chemistry,* 2021, 40 (3), pp. 606-630. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/etc.4890

[4] LOHMANN R., LETCHER R.J. – The universe of fluorinated polymers and polymeric substances and potential environmental impacts and concerns. *Current opinion in green and sustainable chemistry,* 2023, 41, 100795. Accessible sur : https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100795

[5] SCHERINGER M. *ET AL.* – Helsingør statement on poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Chemosphere,* 2014, 114, pp. 337-339. Accessible sur : https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.044

[6] ABUNADA Z. *ET AL.* – An overview of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas) in the environment: source, fate, risk and regulations. *Water,* 2020, 12, 3590. Accessible sur : https://doi.org/10.3390/w12123590

[7] DEWITT J.C. *ET AL.* – Zürich II statement on per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): scientific and regulatory needs. *Environmental science & technology letters,* 2024, 11, pp. 786-797. Accessible sur : https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00147

[8] BUCK R.C. *ET AL.* – Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management,* 2011, 7, pp. 513-541. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ieam.258

[9] GARDINER J. *ET AL.* – Fluoropolymers: origin, production, and industrial and commercial applications. *Australian journal of chemistry*, 2015, 68, pp. 13-22. Accessible sur : https://doi.org/10.1071/CH14165

[10] HENRY B.J. *ET AL.* –A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. *Integrated environmental assessment and management,* 2018, 14, pp. 316-334. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ieam.4035

[11] KORZENIOWSKI S.H. *ET AL.* – A critical review of the application of polymer of low concern regulatory criteria to fluoropolymers II: fluoroplastics and fluoroelastomers. *Integrated environmental assessment and management,* 2022, 19 (2), pp. 326-354. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ieam.4646

[12] LOHMANN R. *ET AL.* – Are fluoropolymers really of low concern for human and environmental health and separate from other Pfas? *Environmental science & technology,* 2020, 54, pp. 12820-12828. Accessible sur : https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244

[13] RICE P.A. *ET AL.* – Comparative analysis of the physicochemical, toxicokinetic, and toxicological properties of ether-Pfas. *Toxicology and applied pharmacology,* 2021, 422, 115531. Accessible sur : https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115531

[14] OCDE – *Synthesis report on understanding side-chain fluorinated polymers and their life cycle.* OECD Publishing, 2022, OECD Series on risk management of chemicals. Accessible sur : https://doi.org/10.1787/e13559f7-en

[15] YOUNG C.J., MABURY S.A. – Atmospheric perfluorinated acid precursors: chemistry, occurrence, and impacts. *R.eviews of environmental contamination and toxicology* 2010, 208, pp. 1-109. Accessible sur : https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6880-7_1

[16] CHRISTENSEN B.T., CALKINS M.M. – Occupational exposure to per- and polyfluoroalkyl substances: a scope review of the literature from 1980–2021. *Journal of exposure science & environmental epidemiology,* 2023, 33, pp. 673-686. Accessible sur : https://doi.org/10.1038/s41370-023-00536-y

[17] PARIS-DAVILA T. *ET AL.* – Occupational exposures to airborne per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine,* 2023, 66 (5), pp. 393-410. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ajim.23461

[18] LUCAS K. *ET AL.* – Occupational exposure and serum levels of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine,* 2023, 66 (5), pp. 379-392. Accessible sur : https://doi.org/10.1002/ajim.23454

[19] GLÜGE J. *ET AL.* – An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas). *Environmental science: processes & impacts,* 2020, 22, pp. 2345-2373. Accessible sur : https://doi.org/10.1039/D0EM00291G

[20] EPA – *2010/2015 PFOA Stewardship Program. 2014 annual progress reports.* United States Environmental protection agency (EPA), 2016.