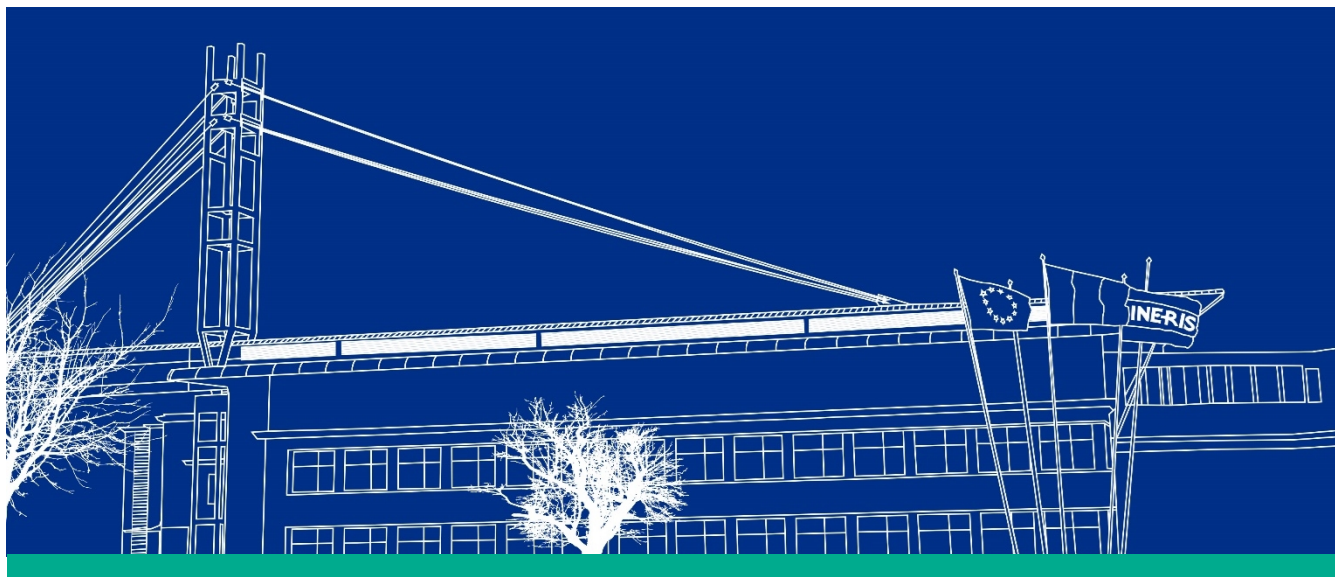




(ID Modèle = 454913)

Ineris - 209433 - 2799431 - v1.0

19/09/2025

Etat des lieux des usages des PFAS et alternatives documentées

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION STRATEGIE POLITIQUE SCIENTIFIQUE ET COMMUNICATION

Rédaction : BOUCARD Pierre, BRIGNON JEAN-MARC, DENIZE Cynthia

Vérification : LEOZ-GARZIANDIA EVA; BRIGNON JEAN MARC

Approbation : GAY DIDIER - le 19/09/2025

Table des matières

1	Introduction	7
2	Rappels de définition.....	9
3	Méthodologie générale	10
3.1	Comment référencer les usages.....	10
3.2	Ressources disponibles pour connaître les usages des PFAS	11
3.3	Approche proposée.....	12
3.3.1	Définitions.....	12
3.3.2	Précisions sur la présentation des usages.....	13
3.3.3	Incertitudes et précisions sur la disponibilité d’alternatives	13
4	Usages des PFAS et alternatives disponibles	15
4.1	Propriétés	15
4.2	Cartographie simplifiée des usages	17
4.3	Cartographie générale des classes de substances employées	19
4.4	Cartographie générale des usages référencés de PFAS.....	21
4.4.1	Les produits de construction (SU19)	21
4.4.2	Le secteur de l’énergie (SU23)	31
4.4.3	Les mousses anti-incendie (SU0).....	41
4.4.4	La production industrielle de PFAS	44
4.4.5	Les gaz fluorés.....	52
4.4.6	Les emballages et matériaux en contact avec les produits alimentaires	64
4.4.7	Les lubrifiants.....	72
4.4.8	Le pétrole et les mines (SU2b)	90
4.4.9	Les textiles, tapisseries, cuirs, habillements et tapis - TULAC (SU5).....	100
4.4.10	Le secteur des transports (SU17)	111
4.4.11	La métallisation et la fabrication de produits métalliques (SU15).....	125
4.4.12	L’électronique et le secteur des semiconducteurs (SU16)	130
4.4.13	Les produits cosmétiques	142
4.4.14	Les mélanges et produits de consommation courante (SU0)	147
4.4.15	Les dispositifs médicaux.....	155
4.4.16	Le secteur pharmaceutique et vétérinaire.....	175
5	Cartographie générale des alternatives disponibles.....	183
6	Conclusion et perspectives.....	185
7	Références	186
	Implications of PFAS definitions using fluorinated pharmaceuticals	193
	Bacterial degradation of the anti-depressant drug fluoxetine produces trifluoroacetic acid and fluoride ion	193
	Interference and dual legislation of veterinary medicinal products in the EU, PFAS restriction	193
8	Annexes.....	194
8.1	Annexe 1 : correspondance entre fonctions techniques et fonctions d’usage	194

8.2	Annexe 2 : détail de la cartographie présentée en partie 5, p.202.....	197
-----	--	-----

Figures

Figure 1 : Nombre de sous-usages uniques dans chaque secteur pour les substances les plus documentées dans la base [83]	19
Figure 2 : Nombre de sous-usages uniques dans chaque secteur pour les différentes catégories de PFAS dans la base [83].....	20
Figure 3 : Synthèse graphique des données portant sur la disponibilité d’alternatives dans chaque secteur (longueur des barres proportionnelle au nombre d’application référencées ; code couleur présenté ci-dessus).....	184

Résumé

En octobre 2020, la Commission européenne présentait dans la Stratégie de l'Union Européenne pour la durabilité dans le domaine des produits chimiques l'ambition d'« interdire l'utilisation des PFAS dans l'UE, à moins qu'il ne soit établi que cette utilisation est essentielle pour la société ». En janvier 2023, cinq états européens déposaient, dans le cadre du règlement REACH¹, une proposition de restriction visant à interdire la production, la mise sur le marché et l'usage des PFAS.

Motivées en premier lieu par le fait que ces milliers de composés sont (ou se dégradent en composés) extrêmement persistants, ces deux initiatives invitent à envisager leur gestion groupée, mais l'identification des dérogations nécessaires requiert une analyse détaillée de leurs usages et de la disponibilité d'alternatives.

L'objectif de ce rapport est de présenter la cartographie actuelle des usages des PFAS et des connaissances sur les solutions de substitution envisageables. Plus particulièrement destiné à un public francophone, il vise à présenter les informations disponibles en s'appuyant majoritairement sur le dossier de restriction déposé dans le cadre de REACH (actuellement en cours d'analyse par les comités techniques de l'ECHA²) et différents travaux de compilation réalisés, notamment dans le cadre du projet européen Horizon 2020 ZeroPM. Le présent rapport s'accompagne de la traduction d'une base d'information au format Excel, établie dans le cadre de ce projet européen et portant sur les usages des PFAS et leurs alternatives.

Une quinzaine de secteurs d'usages sont présentés. Pour chacun d'entre eux, le rapport comporte une présentation générale des enjeux, un inventaire détaillé des fonctions techniques pour lesquelles les PFAS sont employés et des applications associées, des ressources bibliographiques et une synthèse générale sur la disponibilité d'alternatives. Quelques informations propres au contexte national ont été intégrées lorsque les données publiquement disponibles le permettaient.

Cet état des lieux très dense, comportant des informations sur 1612 substances PFAS (dont 1452 associées à des numéros CAS), 18 secteurs, 80 sous-usages et 269 applications, reste malgré tout à compléter, enrichir et actualiser. Le large panorama qu'il présente ne saurait se substituer à des analyses sectorielles qui devraient être menées, non seulement pour tenter de lever les déficits de connaissances constatés mais aussi pour approfondir l'analyse des alternatives identifiées, de leur pertinence d'un point de vue technique mais aussi concernant leur dangerosité pour la santé et l'environnement.

¹ Règlement (CE) no1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances.

² Agence européenne des produits chimiques.

Abstract

In October 2020, the European Commission set out, in the European Union Chemicals Strategy for Sustainability, the ambition to “[phase out] the use of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the EU, unless their use is essential”. In January 2023, five European countries submitted a restriction proposal under the REACH Regulation aiming to prohibit the manufacture, placing on the market, and use of PFAS.

These two initiatives are primarily driven by the fact that these thousands of substances are, or degrade into, extremely persistent compounds. They call for a group-wise management approach, although identifying the necessary exemptions requires a detailed analysis of PFAS uses and the availability of alternatives.

The aim of this report is to present the current mapping of PFAS uses and the existing knowledge on possible substitutes. It is intended in particular for a French-speaking audience and draws primarily on the restriction dossier (currently under review by the ECHA technical committees), as well as various compilations carried out, notably within the framework of the Horizon 2020 European project ZeroPM. This report is accompanied by a translated Excel-based database containing information on PFAS uses and possible alternatives, developed as part of this European project.

Around fifteen use sectors are covered. For each, the report provides a general overview of the relevant issues, a detailed inventory of the technical functions for which PFAS are used and their associated applications, bibliographic references, and a general summary on the availability of alternatives. Where publicly available data permitted, specific information relevant to the national context has been included.

This comprehensive overview, which includes information on 1,612 PFAS substances (1,452 of which are associated with CAS numbers), 18 sectors, 80 sub-uses, and 269 applications, remains a work in progress and will require further completion, enrichment, and regular updates. While it offers a broad panorama, it cannot substitute for sector-specific analyses, which are necessary not only to address current knowledge gaps but also to deepen the assessment of identified alternatives in terms of their technical relevance as well as their potential hazards to human health and the environment.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l’environnement industriel et des risques, Etat des lieux des usages des PFAS et alternatives documentées, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 209433 - v1.0, 19/09/2025.

Mots-clés :

PFAS, usages, secteurs, alternatives

1 Introduction

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) constituent une large famille de composés chimiques de synthèse dont la panoplie des propriétés (stabilités thermique et chimique, résistance à l'eau et aux taches) explique un emploi très large et croissant depuis près de 80 ans, et dont la substitution constitue un défi d'autant plus ambitieux qu'elles offrent une durabilité et des performances exceptionnelles dans des environnements extrêmes.

Cependant, ces mêmes caractéristiques contribuent à leur persistance dans l'environnement, leur mobilité et/ou leur bioaccumulation dans les organismes et conduisent à leur présence ubiquitaire, dans l'environnement, l'eau de pluie, l'eau potable et les aliments.

Pour faire face aux risques pour la santé publique et l'environnement, certaines sous-familles de composés ont déjà été interdites dans l'Union européenne, comme les PFOS, les PFHxA et les PFHxS, et les PFOA, à partir de 2020. Plusieurs autres composés PFAS figurent sur la liste des substances extrêmement dangereuses (SVHC - Substances of Very High Concern) établie dans le cadre de REACH, et certains sont couverts par la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP).

Toutefois, ces initiatives réglementaires portant sur quelques substances peuvent conduire à orienter les efforts de développements vers d'autres composés PFAS, moins documentés à ce jour, mais dont des propriétés de danger pourraient être mises en évidence ultérieurement, et dont la persistance (ou celles de leurs produits de dégradation) est d'ores et déjà connue.

Pour relever le défi de l'évaluation et de la réglementation des PFAS substance par substance, et pour éviter les substitutions regrettables, la Stratégie de l'Union Européenne (UE) pour la durabilité dans le domaine des produits chimiques (liée à l'ambition « Zéro pollution » de l'UE qui constitue un engagement clé du pacte vert pour l'Europe) prévoit une suppression progressive de l'utilisation des PFAS dans l'UE, sauf s'il est prouvé que cette utilisation est essentielle pour la société.

Cet objectif a tout d'abord été mis en œuvre au travers d'une proposition de restriction de l'ensemble des PFAS dans les mousses anti-incendie, sur laquelle l'ECHA s'est prononcée, et qui est en cours d'examen par la Commission Européenne. Il trouve maintenant sa traduction réglementaire la plus ambitieuse dans le projet de restriction globale des PFAS porté par 5 États européens - Suède, Norvège, Danemark, Pays-Bas et Allemagne - qui a été soumis en janvier 2023 et est en cours d'examen par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA).

Ce projet s'appuie sur une ligne directrice, issue de REACH et reprise par la stratégie européenne : les mesures réglementaires et les délais associés devront être proportionnés à la criticité des usages et à la disponibilité de solutions alternatives. Une ambition réglementaire générale sur les PFAS doit s'accompagner d'une démarche d'inventaire aussi approfondie et précise que possible des usages de ces substances et des voies ouvertes en matière de substitution³.

L'objectif de ce rapport est de présenter en français une synthèse générale des connaissances sur les usages des PFAS et la disponibilité d'alternatives dans les différents secteurs d'application. Ce travail s'appuie en grande partie sur le travail mené dans le cadre du projet

1 ³ Au moment où la rédaction de ce rapport s'achève, la France vient de promulguer la loi n° 2025-188 du 27 février 2025 « visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées ». Celle-ci interdit notamment l'usage et la fabrication de PFAS dans les cosmétiques, les farts et les textiles d'habillement. Elle apparaît ainsi en phase avec la logique de la restriction universelle qui vise à contraindre prioritairement les usages des PFAS pour lesquels des alternatives sont disponibles.

de restriction (dossier annexe XV et travaux des comités d'experts de l'ECHA) mais également sur des études sectorielles proposées notamment par l'OCDE. Il est associé à une base d'information au format Excel qui est, pour l'essentiel, une traduction accompagnée de quelques corrections de celle qui a été développée par des chercheurs du projet européen ZeroPM. Le développement de celle-ci pourra être poursuivi pour fournir un outil de diagnostic à jour des substances employées et alternatives disponibles.

La partie 2 présente des généralités sur les PFAS ; la partie 3 indique la méthodologie employée en soulignant les incertitudes et difficultés inhérentes au travail d'inventaire présenté ; la partie 4 constitue l'état des lieux des usages et alternatives documentées ; la partie 5 propose une courte synthèse sur les enjeux de substitution des PFAS.

2 Rappels de définition

Le groupe des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) rassemble plus de 10 000 composés chimiques (polymère ou non-polymère) comportant au moins un groupe méthyle perfluoré (-CF₃) ou un groupe méthylène perfluoré (-CF₂-) (sans aucun atome H/Cl/Br/I attaché au carbone du groupe méthyle ou méthylène).

Cette définition, largement acceptée, a été publiée par l'OCDE en 2021 [8] à la suite de travaux d'harmonisation menés par le groupe PerFluorinated Chemicals (PFC) de l'OCDE/PNUE qui réunit des experts des pays membres et non-membres de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) issus du monde universitaire, des gouvernements, de l'industrie et des ONG (Organisation non gouvernementale), ainsi que des représentants d'autres organisations internationales.

Comme présenté dans le Tableau 1 ci-dessous, les PFAS sont généralement divisés en deux grandes catégories :

- Les PFAS non-polymères tels que les acides perfluoroalkyliques carboxyliques (PFCA), les perfluorocarbures et les acides sulfoniques perfluoroalcanes (PFSA).
- Les PFAS polymères tels que les fluoropolymères et les perfluoropolyéthers

Tableau 1 : Aperçu des différents groupes de PFAS (Source : [8], [84])

Non-polymères	Polymères
Substances perfluoroalkylées Composés dans lesquels tous les atomes d'hydrogène sur tous les atomes de carbone (sauf pour les atomes de carbone associés à des groupes fonctionnels) ont été remplacés par des atomes de fluor, tels que : • Acides perfluoroalkylés (PFAA) – Acides carboxyliques perfluoroalkylés (PFCA) – Acides sulfoniques perfluoroalkylés (PFSA) • Précurseurs des PFAA tels que : – Sulfonamides perfluoroalkanes – Iodures alkyles perfluorés	Polymères à chaînes latérales fluorées Structure principale polymère non fluorée avec des chaînes latérales polyfluorées, telles que : • Polymères d'acrylate et de méthacrylate fluorés • Polymères d'uréthane fluorés • Polymères d'oxétane fluorés • Polymères de siloxanes fluorés
Substances polyfluoroalkylées Composés pour lesquels tous les atomes d'hydrogène sur au moins un (mais pas tous) les atomes de carbone ont été remplacés par des atomes de fluor, tels que : • Alcools fluorotélomères n:2 (n:2 FTOH) • Acides carboxyliques fluorotélomères n:2 (n:2 FTCA) • Diesters d'acide phosphorique polyfluoroalkylés	Fluoropolymères Structure polymère composée uniquement de carbone avec des atomes de fluor directement liés, tels que : • Polytétrafluoroéthylène (PTFE) • Fluorure de polyvinylidène (PVDF) • Fluoroélastomère (FKM)
Gaz PFAS Composés tels que : • Hydrofluorocarbures (HFC) • Perfluorocarbures (PFC) • Hydrofluoroéthers (HFE)	Perfluoropolyéthers Structure polymère en carbone et oxygène (éther) avec des atomes de fluor directement liés aux atomes de carbone
Autres PFAS non polymères Un certain nombre de PFAS dans divers groupes tels que : • Substances actives dans les produits biocides , pharmaceutiques et phytos incluant des groupements -CF₃ • Autres composés aromatiques fluorés à chaînes latérales • Perfluoroalcanes (non gazeux) • Perfluoroalkyl-tert-amines	

3 Méthodologie générale

3.1 Comment référencer les usages

Caractériser les usages d'une substance ou d'une famille de substances peut être une tâche complexe non seulement du fait de la multiplicité des sources et outils à mobiliser (publications scientifiques, littérature grise, bases de données publiques, entretiens auprès des acteurs concernés), mais également du fait de la polysémie du terme même d'usage.

Il est possible de déterminer l'usage d'une substance de différentes manières, toutes *a priori* informatives. Ainsi, une substance peut être employée :

- Dans un secteur, par exemple le secteur des transports
- Dans un sous-secteur, par exemple l'automobile
- Dans un produit, au sens de REACH⁴, c'est-à-dire des préparations ou mélanges dans lesquels la substance est contenue lors de l'utilisation finale ; par exemple les teintures ou les carburants
- Dans un article dans lequel la substance a finalement été transformée, par exemple un ustensile de cuisine ou une carte électronique
- Pour une application particulière, qui peut-être elle-même transverse à plusieurs secteurs ou sous-secteurs, par exemple le traitement de textiles employés pour l'habillage de fauteuils employés aussi bien dans des automobiles que des avions, de l'ameublement...
- Pour une fonction technique particulière offerte par ses propriétés, par exemple un agent tensioactif ou une substance active herbicide
- Pour une fonction d'usage, par exemple assurer l'imperméabilité d'une surface
- Pour rendre un service particulier (point de vue d'un utilisateur), par exemple améliorer les performances isolantes d'un matériau (voir également section 3.3.1).

La difficulté de la classification des usages provient du fait qu'il n'existe pas d'équivalence entre toutes ces manières de les catégoriser. Ainsi une cartographie complète des usages peut nécessiter de répondre à chacune d'entre elles. De plus, s'il existe des nomenclatures permettant de systématiser les classifications dans certaines de ces catégories (fournies notamment par l'ECHA [85], et l'OCDE [86]), celles-ci ne sont pas toujours suivies et rendent la compilation des informations difficile.

Elle est pourtant nécessaire. En effet, la Stratégie pour la durabilité dans le domaine des produits chimiques de l'Union européenne présente l'ambition de « supprimer progressivement l'utilisation des substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS) dans l'UE, à moins que leur utilisation ne soit essentielle ». Sans chercher à développer cette notion d'usage essentiel⁵, cette ambition pose naturellement la question de la substitution des PFAS et nécessite de connaître précisément la fonction de ces substances pour pouvoir en identifier des alternatives.

Elaborer la cartographie des usages en ayant à l'esprit la question de la substitution « fonctionnelle » [87] permet d'élargir le spectre des alternatives possibles au-delà des simples substituts chimiques qui peuvent avoir des profils de toxicité similaires à ceux des substances à remplacer. Ouvrir le champ des alternatives possibles aux matériaux, aux processus industriels, aux produits, aux moyens alternatifs d'apporter une performance acceptable est donc, en cela, cohérent avec l'approche « par groupe » du projet de restriction qui vise à limiter *a priori* les potentialités de substitution regrettable.

Le travail présenté dans ce rapport a donc consisté à mobiliser et à mettre en ordre les informations disponibles sur les usages des PFAS dans ces diverses acceptions et dimensions.

⁴ Voir [85]

⁵ Voir à ce propos [88]

3.2 Ressources disponibles pour connaître les usages des PFAS

Les informations présentées dans ce rapport proviennent de nombreuses sources, de natures différentes.

Le dossier Annexe XV du projet de restriction portant sur la fabrication, la mise sur le marché et de l'utilisation des PFAS [1] constitue à ce jour, le plus large inventaire sur les usages des PFAS. Les Annexes A⁶ et E⁷ incluant respectivement des informations sur les usages et sur les alternatives constituent le socle principal de travail présenté dans ce rapport. Elles fournissent un inventaire détaillé de plus de 250 applications dans une quinzaine de secteurs et d'environ 560 alternatives.

Les informations ainsi acquises ont par ailleurs été complétées grâce à un certain nombre de travaux et initiatives. Sans prétendre en dresser un inventaire complet, la liste suivante illustre la diversité des sources d'informations et peut être lue comme un inventaire de ressources mobilisable sur la substitution des substances préoccupantes en général et des PFAS en particulier.

- Après sa publication, le dossier de restriction a été ouvert à consultation publique et a reçu plus de 5600 commentaires. Une partie de ceux-ci, traités sectoriellement par les comités d'experts (RAC et SEAC) conduira à une mise à jour du dossier initial de restriction Annexe XV.
- Une importante littérature grise provenant de divers organismes publics européens ou de l'OCDE a permis une analyse spécifique pour certains secteurs.
 - o La plateforme de l'OCDE « OECD Series on Risk Management of Chemicals »⁸ fournit en particulier plusieurs études sectorielles sur la substitution des PFAS.
 - o Au-delà de rapports *ad-hoc* fournis par des agences et instituts publics, certains pays mettent en place des plateformes d'information sur la substitution⁹ qui ont été consultées durant cette étude, notamment l'Allemagne avec son portail «SubsportPlus»¹⁰ et Centre suédois pour la substitution chimique¹¹.
- Les sites des entreprises produisant des solutions chimiques fonctionnelles intégrant des PFAS ont été consultés.
- L'ONG Chemsec met à disposition plusieurs supports pour rendre publiques des informations sur les alternatives aux PFAS.
 - o Son «marketplace»¹² est un site internet sur lequel des producteurs de solutions de substitution sont invités à faire connaître leurs propositions et, inversement, les entreprises à la recherche de solutions de substitution peuvent rechercher des informations ou partager des requêtes.
 - o La série de webinaires « Beyond PFAS : The Safer Alternatives »¹³ fournit des informations sur les alternatives potentielles aux PFAS dans des applications spécifiques telles que les textiles techniques, les gaz fluorés ou les panneaux solaires.
 - o Enfin un site internet intitulé « PFAS Guide »¹⁴ fournit un outil de recherche des secteurs, matériaux et produits susceptibles de contenir des PFAS. Une base d'information associée à cet outil est en accès libre et a été exploitée dans le cadre de ce rapport.

⁶ <https://echa.europa.eu/documents/10162/d2f7fce1-b089-c4fd-1101-2601f53a07d1>

⁷ <https://echa.europa.eu/documents/10162/8de11d7c-c56f-e204-5072-e89f11071219>

⁸ [OECD Series on Risk Management of Chemicals | OECD](https://oecdseries.org/chemicals/)

⁹ Notamment la France France via son site <https://substitution.ineris.fr/fr> et le Portail Substances Chimiques (<https://substances.ineris.fr/>) dans lequel les fiches technico-économiques comprennent des informations sur la substitution

¹⁰ https://www.subsportplus.eu/subsportplus/EN/Home/Home_node

¹¹ <https://www.ri.se/en/the-swedish-centre-for-chemical-substitution>

¹² <https://marketplace.chemsec.org/>

¹³ <https://chemsec.org/knowledge/beyond-pfas/>

¹⁴ <https://pfas.chemsec.org/>

- Le projet ZeroPM¹⁵, financé par l'Union européenne a également collecté un grand nombre de données sur les solutions de remplacement des PFAS¹⁶ agrégeant une grande partie des informations disponibles, notamment celles du dossier de restriction. La base d'information associée au présent rapport en constitue une traduction.

3.3 Approche proposée

La partie 4 de ce rapport présente un inventaire des usages liés aux PFAS et des informations relatives à leurs alternatives.

Les parties 4.1 à 4.3 en présentent une synthèse en rappelant les propriétés des PFAS, leurs applications et secteurs d'usage, accompagnée d'une cartographie des substances les plus référencées.

La partie 4.4 offre une présentation plus détaillée et systématique des informations portant sur les usages et alternatives pour une quinzaine de grands secteurs. Sont ainsi fournis pour chacun d'entre eux :

- Une cartographie des principaux sous-secteurs et applications indiquant le nombre de substances PFAS associées
- Les noms et numéros CAS des substances les plus associées
- Un tableau descriptif des sous-secteurs, applications, services, fonctions d'usage et fonctions techniques
- Une cartographie simplifiée de la disponibilité d'alternatives pour chaque application
- Un inventaire indicatif des alternatives identifiées
- Une synthèse générale sur les usages et la disponibilité d'alternatives fondées sur les derniers éléments à notre disposition et comprenant des éléments d'analyse difficilement présentables dans les tableaux précédents.

Une partie importante de ce travail repose sur une base d'information annexée à ce rapport qui provient du travail de compilation réalisé dans le cadre projet européen ZeroPM. La base fournie en est une version traduite, dont une partie du contenu a été corrigée pour une meilleure uniformisation des termes (en facilitant ainsi l'exploitation) et augmentée de quelques variables.

Quelques précisions ou recommandations d'usages sont apportées dans les sections suivantes.

3.3.1 Définitions

Les termes employés dans ce rapport pour qualifier les modalités d'usage font référence aux travaux relatifs à la substitution « fonctionnelle » (voir [87]).

Il faut ainsi entendre par **fonction technique**, la fonction offerte par l'utilisation d'une substance et déterminée par ses propriétés physico-chimiques. La nomenclature reprend celle de « functional use » formalisée par l'OCDE¹⁷.

La **fonction d'usage** spécifie l'objectif spécifique de la substance dans un produit ou un processus. Elle permet de préciser ce que la substance apporte au produit ou au processus du fait de sa fonction technique. Ces deux notions sont donc étroitement liées et l'Annexe 8.1 fournit un tableau de correspondances entre elles. A titre d'exemple, un agent antiadhésif (fonction technique) peut permettre d'empêcher l'adhésion entre différents matériaux, ou repousser la saleté (fonction d'usage).

¹⁵ <https://zeropm.eu/>

¹⁶ <https://zeropm.eu/alternative-assessment-database/>

¹⁷ https://www.oecd.org/en/publications/internationally-harmonised-functional-product-and-article-use-categories_5bc060b4-en.html

Enfin, le **service** fourni par la substance dans un produit ou un processus spécifie plus généralement en quoi les fonctions techniques et d'usage rendent l'emploi de la substance utile dans le secteur concerné. A titre d'exemple, un agent antiadhésif peut servir à assurer la grande propreté d'un dispositif médical.

La superposition de ces notions aux contours se recouvrant partiellement, peut parfois se traduire par une redondance de certaines informations. Toutefois, elle constitue une formalisation de l'information souvent nécessaire à la définition précise des enjeux de substitution et de recherche d'alternatives chimiques ou non.

3.3.2 Précisions sur la présentation des usages

Du fait de la nomenclature retenue, certains secteurs d'usage peuvent se superposer en partie. Les lubrifiants peuvent par exemple être employés dans de très nombreux secteurs (industrie, transports...), ou les batteries peuvent représenter un sous-usage aussi bien dans le secteur des transports que dans celui de l'énergie. Il en résulte que le rapport peut contenir des répétitions. Lorsque ça ne compromettrait pas la lisibilité des travaux ou n'allongerait pas le rapport de manière trop importante, il a été choisi de conserver ces répétitions afin que chaque secteur puisse être consulté indépendamment du reste du rapport.

3.3.3 Incertitudes et précisions sur la disponibilité d'alternatives

3.3.3.1 *Précaution sur les alternatives répertoriées*

Le rapport présente un inventaire d'alternatives disponibles ou en cours de développement car elles ont été présentées comme telles, notamment dans le dossier de restriction. Toutefois, il ne se substitue pas à une analyse approfondie des alternatives pour lesquelles il est nécessaire de disposer d'informations précises notamment sur les requis techniques qui peuvent être portés par divers enjeux spécifiques à chaque application, qu'il s'agisse de niveaux de performance à atteindre, de normes à respecter, d'attente des consommateurs, etc.

L'objectif de cet inventaire est de servir de point de départ à une analyse plus approfondie. Il est possible que les solutions proposées ne soient pas pertinentes ou réalisables techniquement. En outre, les éléments de coût n'ont pas été pris en compte. Enfin, une analyse des propriétés de danger de ces alternatives reste à mener pour prévenir toute démarche de substitution regrettable.

3.3.3.2 *Difficultés plus générales sur la recherche d'alternatives*

Les informations qui sont disponibles publiquement sur les usages et les alternatives ne permettent généralement pas d'aboutir à un état des lieux exhaustif.

D'une manière générale, les informations sur l'identité ou l'efficacité de solutions de substitution restent limitées, et les études effectuant une analyse comparative des performances des produits non fluorés par rapport aux PFAS existent pour un certain nombre d'applications spécifiques, mais manquent pour d'autres.

Les bases de données de l'ECHA fondées sur les dossiers d'enregistrement ou celles développées par ailleurs manquent généralement d'éléments quantitatifs qui permettraient de discriminer les usages les plus importants d'autres minoritaires voire seulement putatifs¹⁸.

La consultation publique à laquelle a été soumis le dossier de restriction a permis de bénéficier d'un nombre important de témoignages susceptibles de préciser les informations qu'il contient. Toutefois, au moment de la rédaction de ce rapport, seule une faible partie d'entre eux a été prise en compte.

¹⁸ A ce titre, l'analyse des brevets conduite dans [36] est une source d'information utile et importante sur les usages des PFAS dont la portée est limitée par le fait que l'existence d'un brevet n'indique pas nécessairement l'existence ou la disponibilité de telles applications sur le marché.

D'une manière générale, l'asymétrie d'information par rapport aux industriels rend l'exercice d'inventaire périlleux car il conduit au risque, d'une part, de passer à côté de certains usages, et d'autre part, de mal évaluer les verrous entravant la démarche de substitution. Les industriels, qui peuvent faire face eux-mêmes à un accès difficile à l'information lorsque les chaînes de valeur sont complexes, restent les principaux détenteurs d'informations sur les performances techniques et les coûts des alternatives et les principaux contributeurs à la rédaction de normes industrielles et des exigences techniques justifiant l'usage des substances chimiques.

4 Usages des PFAS et alternatives disponibles

4.1 Propriétés

Les structures chimiques des PFAS leur confèrent de nombreuses propriétés :

- **Inertie chimique** : les PFAS sont très résistants aux réactions chimiques et à la dégradation. Cette propriété fait par exemple des PFAS des substances en mesure d'intégrer la composition de dispositifs médicaux implantables. L'inertie chimique confère aux PFAS une autre propriété : la résistance à la corrosion qui peut être utile dans de nombreux domaines dont celui des lubrifiants ou des systèmes hydrauliques.
- **Haute rigidité diélectrique** : se dit d'un matériau qui ne peut pas conduire le courant électrique et par extension peut être exposé à des champs électriques élevés sans apparition d'étincelles. Les PFAS trouvent par exemple de multiples applications dans les industries électriques et électroniques grâce à cette propriété qu'elles confèrent aux matériaux : fils, câbles, circuits imprimés et semi-conducteurs.
- **Résistance aux rayonnements** : propriété d'une substance à ne pas réagir sous l'action de rayons tels que les ultraviolets. Cette propriété est par exemple utile dans le secteur de la construction pour la production de produits d'extérieur (toitures en asphalte, membranes d'étanchéité pour toits terrasses) ou dans le domaine nucléaire.
- **Résistance aux hautes températures** : les PFAS peuvent résister à des températures élevées sans se dégrader ni libérer de produits toxiques (dégazage). Cette propriété est nécessaire notamment dans le cadre de la lutte contre les incendies où les PFAS sont intégrés aux mousses anti-incendie ou dans des matériaux utilisés dans des procédés opérant à hautes températures.
- **Hydrophobe** : caractérise les substances dont des groupes chimiques ont tendance à repousser l'eau. Cette propriété des PFAS est par exemple exploitée pour la production de traitements imperméables pour textiles, chaussures, etc.
- **Lipophobe/Oléophobe** : Propriété d'une substance de rejeter le contact avec les graisses. A titre d'exemple, l'association des caractères lipophobe et hydrophobe des PFAS confère aux revêtements pour emballages alimentaires en papier et carton dans lesquels ils sont intégrés résistances à l'eau et aux graisses.
- **Frigorigène** : Se dit d'un fluide que l'on fait évoluer suivant un cycle frigorifique pour prendre de la chaleur dans un milieu à basse température et la rejeter dans un milieu à température plus élevée. Certains gaz fluorés, dont la structure chimique correspond à celle de PFAS, sont utilisés dans les systèmes d'absorption de chaleur (climatisation, congélateur) ou dans les pompes à chaleur, qui absorbent l'énergie thermique à l'extérieur et les restituent à l'intérieur d'un local.
- **Faible coefficient de friction** : le coefficient de friction correspond au rapport entre la **force de glissement** et la **force de maintien** produites au contact de deux surfaces. Sur la base de cette propriété, les PFAS sont employés comme agents de démoulage ou pour la lubrification de pièces (roulements, vérins, vis, écrous...) dans de nombreux secteurs : alimentaire, aéronautique, automobile, ferroviaire, nucléaire électronique, médical, énergies renouvelables, pétrole et gaz...
- **Tensioactif** : permet le transfert de molécules hydrophobes vers un milieu aqueux et abaisse la tension superficielle d'un liquide, ce qui a pour effet d'en augmenter les propriétés mouillantes : permet la formation d'émulsions, de mousses. Les propriétés tensioactives de certains PFAS ont conduit à leur usage dans les mousses anti-incendie

(principalement utilisées pour lutter contre les feux liquide de classe B¹⁹) où elles permettent :

- la formation de la mousse (la mousse a pour fonction d'empêcher l'apport du comburant oxygène, de limiter l'émission de vapeurs toxiques et refroidir la surface)
- d'augmenter le contact entre la mousse (phase aqueuse) et les hydrocarbures en combustion.

¹⁹ Les incendies de classe B regroupent les feux de liquides, les feux de solides liquéfiables ou les « feux gras », autrement dit les feux d'hydrocarbure, d'essence, et/ou de paraffine

4.2 Cartographie simplifiée des usages

Du fait de leurs nombreuses propriétés, les PFAS sont utilisés dans de multiples secteurs de l'industrie et pour une très large gamme d'applications. La présentation de tous les usages référencés est rapidement complexe. Le Tableau 2 ci-dessous en dresse une présentation simplifiée, assortie d'exemples, établie sur la base du dossier de restriction et des ressources indiquées dans la partie 3.1.

Tableau 2. Exemples d'applications des PFAS en fonction des propriétés recherchées

Secteur	Exemples d'applications	Propriétés des PFAS
Industrie textile	Traitements imperméables, antitaches et anti-graisses, pour vêtements destinés aux consommateurs, chaussures, textiles techniques, cuir, tissus d'ameublement	Lipophile Hydrophobe Faible tension superficielle Résistance aux hautes températures
Contact alimentaire	Revêtements pour emballages alimentaires en papier et carton Revêtement antiadhérent pour ustensiles de cuisine et dans l'industrie agro-alimentaire	
Construction	Traitements antitaches pour surfaces en verre et en céramique (fenêtres, miroirs, les portes de douche, baignoires et toilettes) Peintures antitaches, anti-graffitis et hydrofuges	Lipophile Hydrophobe Faible tension superficielle Inertie chimique
Lutte contre les incendies	Mousses anti-incendie	Résistance aux hautes températures Propriétés tensioactives
Industrie électrique	Fils et câbles	Inertie électrique et résistance aux hautes températures
	Composants électroniques, Etanchéité des composants électroniques	Hydrophobe Oléophobe Inertie électrique Résistance aux hautes températures, à l'abrasion, aux produits chimiques Faible tension de surface
	Photolithographie Lithographie	Propriétés spécifiques d'indice de réfraction Faible tension de surface Résistance aux hautes températures Inertie chimique Tensioactifs
	Semi-conducteurs	Faible tension superficielle Tensioactifs Hydrophobe
Construction	Toitures en asphalte, revêtements de toitures en métal, membranes d'étanchéité pour toits terrasses	Résistance aux intempéries (caractère hydrophobe) Résistance aux rayonnements Résistance à la corrosion

Secteur	Exemples d'applications	Propriétés des PFAS
Energie	Films dans les cellules photovoltaïques et les panneaux solaires Membranes, diaphragmes, joints... dans des électrolyseurs, piles à combustibles, batteries.	Résistance aux intempéries (UV, humidité, températures) Résistance aux rayonnements Résistance aux hautes températures Inerte chimiquement Faible coefficient de friction
Lubrifiants	Lubrification de pièces (roulements, vérins, vis, écrous...) dans de nombreux secteurs : alimentaire, aéronautique, automobile, ferroviaire, nucléaire électronique, médical, énergies renouvelables, pétrole et gaz...	Faible coefficient de friction Résistance aux hautes températures Résistance à la corrosion Inerte chimiquement
Transfert thermique	Systèmes de réfrigération, de climatisation, pompes à chaleur	Frigorigène
Métallisation et fabrication de produits métalliques	Bains de chromage dur pour pièces d'avions et d'automobiles exposées à des conditions facilitant la corrosion et aux frottements (cylindres hydrauliques, barres métalliques, roulements...)	Propriétés tensioactives
Industrie minière	Agents mouillants pour la lixiviation des minerais Agents antibrouillards pour les bains de traitement de surface	Propriétés tensioactives Faible tension superficielle
Industrie pétrolière	Agents anti-mousse pour les fluides de forage Traceurs pour eau et gaz dans la cartographie des réserves de pétrole et de gaz naturel	Propriétés tensioactives
Industrie automobile	Cires, cirages et vernis	Propriétés tensioactives Lipophobie Hydrophobie Résistance à haute température Faible coefficient de friction Inertie chimique Résistance aux UV
Industrie automobile Industrie aéronautique	Fluides hydrauliques	Résistance à haute température Résistance à la corrosion
Secteur médical	Mèches et traitement des plaies	Faible tension superficielle Hydrophobe
Valves, joints, revêtements de conduits...	Tous secteurs (industries, bâtiment, réseaux...) transportant des fluides dans des conditions rendant les fonctions des PFAS utiles	Ensemble des principales fonctions des PFAS

4.3 Cartographie générale des classes de substances employées

Les Figure 1 et Figure 2 ci-dessous fournissent un aperçu du nombre de sous-usages différents associés aux substances pour lesquelles le plus grand nombre d'informations a été obtenu. Les fluoropolymères et fluorotélomères sont associées au plus grand nombre d'applications, mais les ordres de grandeur sont homogènes entre les différentes classes de PFAS. Il est à noter qu'un nombre élevé de sous-usages (78) est associée à des composés pour lesquels la classe de PFAS n'a pas été identifiée. Ces informations sont détaillées dans les parties suivantes couvrant les différents secteurs.

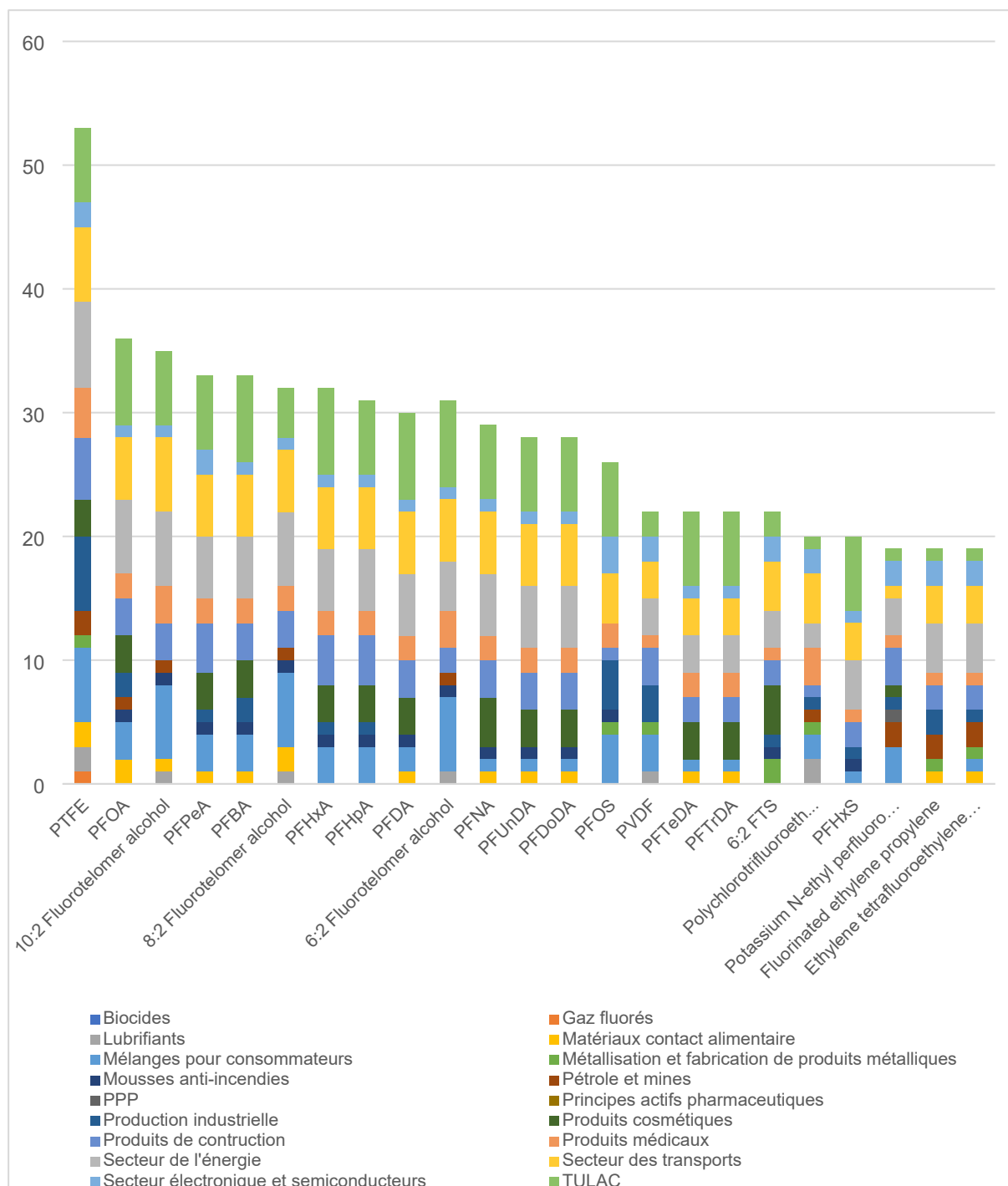


Figure 1 : Nombre de sous-usages uniques dans chaque secteur pour les substances les plus documentées dans la base [83]

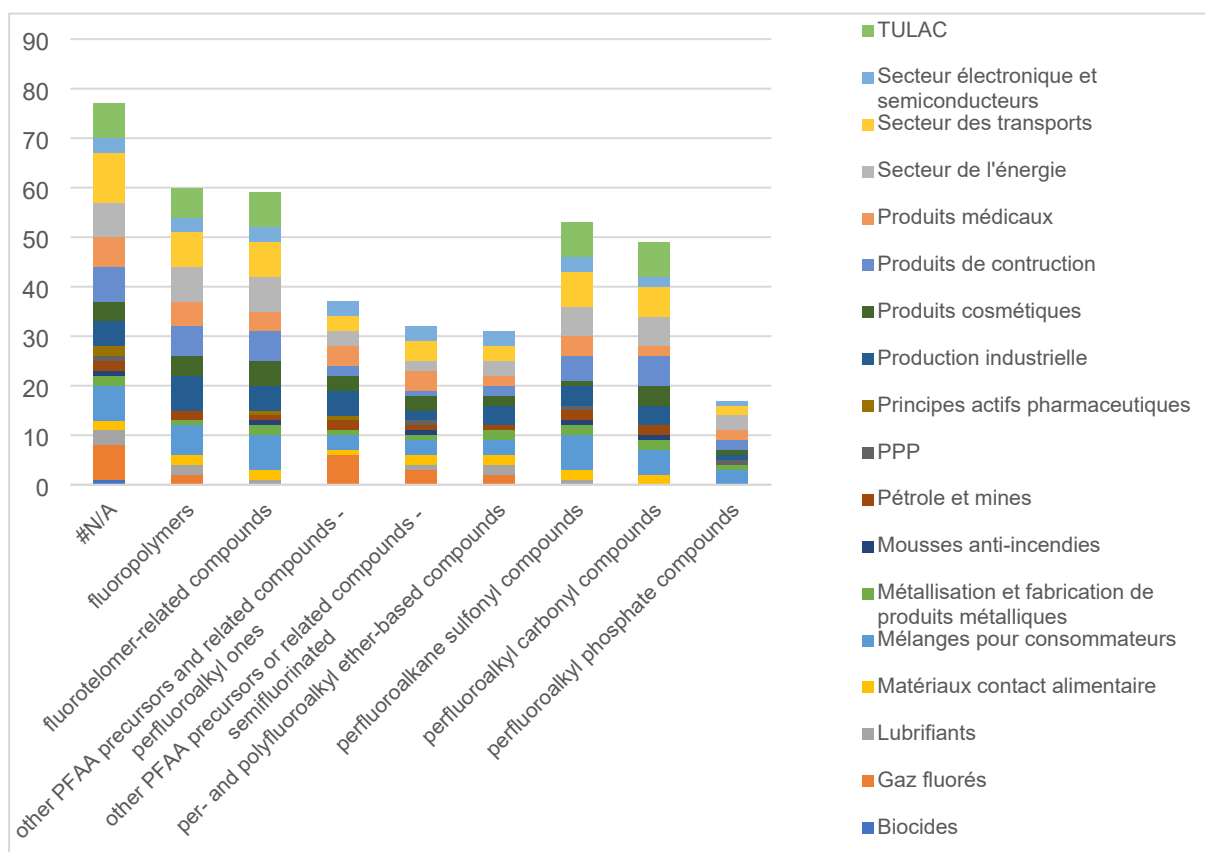


Figure 2 : Nombre de sous-usages uniques dans chaque secteur pour les différentes catégories de PFAS dans la base [83]²⁰.

²⁰ La catégorisation des substances a été obtenue à partir de la base de données des substances PFAS de l'OCDE (<https://doi.org/10.1787/1a14ad6c-en>)

4.4 Cartographie générale des usages référencés de PFAS

4.4.1 Les produits de construction (SU19)²¹

Les PFAS sont largement utilisés dans les produits de construction. Selon les estimations présentées dans le dossier de restriction, de l'ordre de 5 000 à 13 000 tonnes²² de PFAS seraient utilisés annuellement dans ce secteur en Europe, dont environ 80% sont des fluoropolymères.

Le Tableau 3 présente une première synthèse des sous-usages et applications liés aux PFAS dans ce secteur et indique le nombre de substances PFAS référencées dans la base d'information.

Tableau 3 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des produits de construction (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Produits de construction	115
Agents gonflants pour mousses	15
Mousse de polystyrène extrudée (XPS)	2
Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées	8
Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	5
Fils et câbles	6
Isolation des câbles électriques et des fils	6
Membranes utilisées en architecture	4
Membranes architecturales	4
Production de polymères/plastiques non-PFAS	16
Aides à la transformation (« processing aids »)	16
Protection du verre	19
Film/feuille pour serres	19
Revêtement et peinture	94
Peinture et revêtement architecturaux	34
Revêtement de métaux prélaqués (acier et aluminium)	22
Revêtement de pales d'éoliennes	30
Revêtement des panneaux solaires	38
Scellement et adhésifs	35
Ruban d'étanchéité pour filetage (par exemple, pour les raccords de tuyaux pour les liquides et les gaz)	32
Scellement pour les matériaux poreux et le béton	25
Sols	12
Linoléum résilient	2
Revêtement de sol et de mur	7
Revêtements de sol en plastique stratifié	5
Supports de bâtiments et de ponts	24
Roulements pour bâtiments et ponts	24

4.4.1.1 Substances employées

Selon la proposition de restriction des PFAS, le PTFE (Polytetrafluoroéthylène), l'ETFE (Éthylène tétrafluoroéthylène) et le PVDF (Fluorure de polyvinylidène) représentent 97 % de l'utilisation totale signalée des fluoropolymères dans les matériaux et produits de construction. Ces fluoropolymères représentant eux-même, comme indiqué plus haut environ 80% des 5 000 à

²¹ Dans cette partie et les suivantes, les titres mentionnent entre parenthèses les Secteurs d'Usage (SU) correspondants dans la [nomenclature employée dans REACH](#). A titre d'exemple, SU19 correspond à « Building and construction work ».

²² La proposition souligne que certains éléments pourraient être sous-estimés.

13 000 tonnes de PFAS employés dans le secteur. Le Tableau 4 présente la liste des PFAS les plus répertoriés dans la base d'information.

Tableau 4 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83]) (Note : certains noms de substance ont été coupés lorsqu'ils étaient trop longs)

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	8
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3	6
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	6
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	6
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8	5
Poly(vinylidene fluoride) (PVDF)	24937-79-9	5
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1	5
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	5
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2	5
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4	5
Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	5
Poly(difluoromethylene)...	65530-70-3	5
Poly(oxy-1,2-ethanediyl)...	65545-80-4	5
8:2 Fluorotelomer alcohol	678-39-7	5
2-Propenoic acid...	68298-62-4	5
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	5

4.4.1.2 Cartographie des usages

Le Tableau 5 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des produits de construction en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 5 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des produits de construction. (Note : Les sources en [bleu](#) fournissent des informations sur les alternatives aux PFAS dans ce secteur)

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Enduits et peintures architecturales	Revêtements pour les ponts, bâtiments et construction	Améliorer la durabilité Améliorer la résistance aux conditions climatiques (humidité, intempéries, lumière et hautes températures) Assurer la résistance dans les environnements difficiles (corrosion, résistance aux flammes) Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface et éviter les défauts de surface (par exemple les fissures) Assurer une bonne adhérence du revêtement ou de la peinture sur le substrat	Agent imperméabilisant Agent mouillant Durcisseur Inhibiteur de corrosion Liant Stabilisateur thermique Stabilisateur UV Agent antiadhésif, désaérateur pour réduire les bulles, Agent antitaches	[1] ; [4] ; [5] ; [9] ; [15] ; [17] ; [25] ; [26] ; [28] ; [29] ; [36] ; [55] ; [56] ; [69] ; [83]
Protection des surfaces	Revêtements de sols et murs Surfaces absorbantes et non absorbantes (verre, émail, céramique, métal, pierre, béton)	Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface et éviter les défauts de surface (par exemple les fissures)	Agent mouillant, Agent antitache, Agent imperméabilisant	[1] ; [4] ; [5] ; [9] ; [12] ; [13] ; [15] ; [16] ; [25] ; [26] ; [36] ; [69] ; [83]
	Linoleum résilient	Manque d'informations	Manque d'informations	
	Revêtements de sol en plastique stratifié	Manque d'informations	Manque d'informations	
Mousse d'isolation	Mousse de polystyrène extrudée (XPS) Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	Assurer l'expansion des mousses employées pour certaines tâches d'isolation	Agent gonflant pour mousses	[1] ; [55] ; [83]
Supports de construction	Supports de bâtiments et de ponts	Garantir la bonne interface entre deux matériaux : Fournir une résistance à l'eau Réduire le frottement entre deux surfaces en mouvement	Agent imperméabilisant (hydrophobe) Agent lubrifiant	[1], [83]
Membranes	Diverses membranes employées en architecture	Diverses isolations par membranes : Fournir une résistance à l'eau Protéger la surface contre l'oxydation Résiste aux températures élevées	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Stabilisateur UV	[83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Résistance à la dégradation par la lumière		
Toitures	Films, ou revêtements de toiles ou de fibres de verre résistants à l'usure, aux produits chimiques, aux UV – ex : Toits de stades	Résistance aux conditions climatiques Résistance aux produits chimiques	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion	[1]; [9] ; [26] ; [29] ; [36] ; [69]
	Revêtements de membranes imperméables en PVC ou caoutchouc synthétique – ex : Toits plats	Résistance à l'usure, aux taches, à l'humidité Capacité de réflexion solaire	Stabilisateur UV Inertie chimique	
Joints et adhésifs	Scellement de matériaux poreux (sols en pierre, en carreaux ou en béton) pour des applications intérieures (cuisines et salles de bains) et des applications extérieures (terrasses, escaliers, fondations et parkings) Mastics pour remplir les espaces et les fissures, créant un joint étanche dans les façades des bâtiments, les ascenseurs et le mobilier	Améliorer la pénétration dans le matériau, ce qui augmente l'adhérence Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface Protection contre l'humidité et prévention contre le développement de moisissures	Agent mouillant Agent imperméabilisant Agent antiadhésif Durcisseur Agent antitache (lipophobe) Stabilisateur thermique	[1] ; [9] ; [16] ; [25] ; [26] ; [29] ; [36] ; [69] ; [82], [83]
	Adhésifs pour les carrelages, les revêtements de sol, les cloisons sèches, les plafonds, les matériaux dérivés du bois et les structures moulées.	Assurer l'étanchéité Protection du matériau contre les taches et la graisse		
	Rubans pour le vitrage structurel.	Protection du matériel contre les dommages physiques		
	Le ruban PTFE (et le mastic liquide/pâteux pour filetage de tuyaux) est également un type d'étanchéité utilisé pour sceller, par exemple, les raccords de tuyaux	Améliorer la résistance aux conditions climatiques (humidité, neige, glace)		
Applications domestiques	Rubans PTFE pour les systèmes d'eau potable Produits d'étanchéité pour l'installation de fenêtres et de portes	Assurer l'étanchéité	Agent imperméabilisant	[1] ; [69]
	Produits adhésifs pour le bricolage, tels que les rubans et carrés double face, et solutions d'accrochage sans dommages pour les tableaux...	Manque d'informations	Manque d'informations	
	Gazon artificiel	Manque d'informations	Auxiliaires technologiques (fonctions non précisées)	[69]
Protection du verre	Matériaux de construction/construction en verre (fenêtres, portes et miroirs...)	Traitement de surface/revêtement : Faciliter l'étape de mise en place de revêtements Manque d'informations sur autres services	Agent mouillant Manque d'informations sur autres fonctions techniques	[1] ; [15] ; [69]
	Films pour serres	Assurer durabilité face aux conditions climatiques	Agent antiadhésif	[83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Repousser la saleté pour assurer la propreté des surfaces et l'efficacité énergétique de la serre Fournir une résistance à l'eau pour résistance aux conditions climatiques Protéger la surface contre l'oxydation pour améliorer la durabilité Résiste aux températures élevées pour résistance aux conditions climatiques Résistance à la dégradation par la lumière pour résistance aux conditions climatiques	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Stabilisateur UV	
Cales de halage pour la construction	Non identifiée	Non identifiée	Non identifié	[1]
Bois de construction	Revêtements/peintures/vernis/laques pour substrat en bois	Additifs qui améliorent le nivellement et l'étalement et augmentent la résistance à l'huile, à l'eau et aux taches	Agent imperméabilisant Agent antitache Tensioactif Agent antiadhésif	[1] ; [4] ; [5] ; [9] ; [15] ; [17] ; [25] ; [26] ; [28] ; [29] ; [36] ; [55] ; [56] ; [69]
	Résine (urée-formaldéhyde)/colle pour panneaux de particules/agglomérés/panneaux de fibres à faible densité	Améliorer le gonflement à l'eau froide et la force de liaison interne	Manque d'informations	[1] ; [69]
Fils et câbles	Câbles et fils électriques pour climatiseurs, luminaires, sols chauffants... Rubans en plastique (ex : pour envelopper des faisceaux de fils)	Garantir le bon service des fils et câbles électriques Protection contre l'humidité Améliorer la durabilité Améliorer l'efficacité Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer une bonne stabilité à haute température	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Isolant Retardateur de flammes Stabilisateur thermique	Cf. Secteur Electronique et semi-conducteurs
Métallurgie	Revêtements de surfaces métalliques à contact élevé (ascenseurs, sanitaires...) Revêtements de portes et composants de porte en métal (charnières, cadres, loquets, poignées, serrures, etc.)	Revêtements de protection contre les taches, les intempéries et la corrosion	Agent mouillant Durcisseur Inhibiteur de corrosion	[1] ; [4] ; [5] ; [9] ; [12] ; [13] ; [15] ;

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Toits et murs extérieurs en métal	Revêtements destinés à augmenter l'efficacité énergétique des surfaces métalliques en augmentant la réflectivité, à empêcher la neige et la glace de coller aux toits et aux gouttières et à faciliter la pénétration des clous de toiture enduits	Stabilisateur UV Agent imperméabilisant Stabilisateur thermique Liant	[16] ; [25] ; [26] ; [36] ; [69], [83]
	Revêtement d'aluminium et d'acier prélaqué (coil coating). Employé dans le bâtiment comme couverture et bardage. Également employé pour les faîtières, les gouttières, les supports d'étanchéité, les panneaux sandwich.	Améliorer la durabilité Améliorer la résistance aux conditions climatiques (humidité, intempéries, lumière) Assurer la résistance dans les environnements difficiles (dont hautes températures) Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface et éviter les défauts de surface sur le revêtement Assurer une bonne adhérence du revêtement ou de la peinture sur le substrat		
Polymères	Toute utilisation de polymères dans la construction et le bâtiment nécessitant les fonctions offertes par les PFAS (ex. : résines pour polycarbonates...)	Conférer des propriétés particulières aux polymères pertinentes dans le bâtiment Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Empêcher l'accumulation d'électricité statique et dissiper la charge électrique formée sur le substrat Améliorer le démoulage Repousse la saleté et l'huile Fournir une résistance à l'eau Réduire le coefficient de frottement au cours du processus de fabrication Abaisser la tension superficielle entre deux composants d'un mélange Fournir une résistance mécanique et une résistance à l'abrasion	Additifs ignifuges Additif anti-goutte Tensioactif Agent antistatique Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Agent lubrifiant Agent mouillant Durcisseur	[1] ; [83]
Composants d'énergie électrique extérieure	Films/revêtements de protection de surface résistants pour pales d'éoliennes (protection de la résine du composite)	Améliorer la durabilité Améliorer la résistance aux conditions climatiques (humidité, intempéries, lumière et hautes températures)	Agent imperméabilisant Agent mouillant Conservateur	Cf. Secteur de l'énergie

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface et éviter les défauts de surface (par exemple les fissures) Assurer une bonne adhérence du revêtement ou de la peinture sur le substrat Empêcher le développement de bactéries sur la surface	Durcisseur Inhibiteur de corrosion Liant Stabilisateur thermique Stabilisateur UV	
	Revêtements de surface pour panneaux solaires en verre ou en ETFE	Améliorer la durabilité Améliorer la productivité Améliorer la résistance aux conditions climatiques (humidité, intempéries, lumière et hautes températures) Assurer un bon nivellement du revêtement sur la surface et éviter les défauts de surface (par exemple les fissures) Assurer une bonne adhérence du revêtement ou de la peinture sur le substrat Assurer une surface propre et faciliter l'entretien Empêcher le développement de bactéries sur la surface	Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Agent mouillant Conservateur Liant Stabilisateur thermique Stabilisateur UV Agent antitaches	

4.4.1.3 Disponibilité des alternatives

Le dossier de restriction et la base d'information fournissent des informations sur la disponibilité d'alternatives sur le marché. Ceci doit être interprété comme un premier niveau d'information en matière de substitution mais l'analyse réelle des alternatives reste généralement à confronter aux conditions réelles d'application. Le Tableau 6 présente les applications selon une échelle de disponibilité des alternatives établie sur la base des informations non nomenclaturées présentes dans la base [83]. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : membranes architecturales) en fonction du type d'alternative envisagée. Le

Tableau 7 mentionne les alternatives identifiées.

Tableau 6 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS) Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée
	Membranes utilisées en architecture Production de polymères/plastiques non-PFAS Revêtement et peinture	Membranes architecturales Aides à la transformation Peinture et revêtement architecturaux Revêtement de métaux prélaqués (acier et aluminium) Revêtement de pales d'éoliennes Revêtement des panneaux solaires
	Scellement et adhésifs	Scellement pour les matériaux poreux et le béton
Alternative disponible mais non adoptée	Supports de bâtiments et de ponts	Roulements pour bâtiments et ponts
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Membranes utilisées en architecture	Membranes architecturales
Manque d'informations	Fils et câbles	Isolation des câbles électriques et des fils
Pas d'alternative identifiée	Protection du verre Scellement et adhésifs	Film/feuille pour serres Ruban d'étanchéité pour filetage (par exemple, pour les raccords de tuyaux pour les liquides et les gaz) Linoléum résilient
	Sols	Revêtement de sol et de mur Revêtements de sol en plastique stratifié

Tableau 7 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des produits de construction

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS) Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	Alternatives disponibles	2-chloropropane
			Cellulose
			Chanvre
			Coton
			Cyclopentane
			Dioxyde de carbone
			Fibres de verres
			Isobutane
			Iso-pentane
			Laine de mouton
			Laine minérale
			Mousse cimentaire

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Mousses soufflées à l'eau n-butane n-pentane Paille
Supports de bâtiments et de ponts	Roulements pour bâtiments et ponts	Alternative disponible mais non adoptée	Rouleaux d'acier
Fils et câbles	Isolation des câbles électriques et des fils	Incertain	Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Matériaux à base de céramique Matériaux à base de silicone Polychlorure de vinyle (PVC) Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK)
Membranes utilisées en architecture	Membranes architecturales	Alternative disponible	Aramide (Kevlar, Twaron) Coton et autres fibres naturelles Fibre de verre Fibres de carbone
		Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Polychlorure de vinyle (PVC) Polyester Polyamides
Production de polymères/plastiques non-PFAS	Aides à la transformation	Alternative disponible/Alternative au stade recherche et développement	Additif à base de siloxanes Nitrure de bore
Revêtement et peinture	Peinture et revêtement architecturaux	Alternative disponible	1-Octanol, produits de réaction...* 2,4,7,9-tetraméthyldec-5-yn-4,7-diol 4,4'-Isopropylidènediphénol...* Poly(oxy-1,2-éthanediyl)...* Polyuréthane Poudre de polyester Silicones/silanes/polysiloxanes Siloxanes et silicones, di-Me...* Polyester haute durabilité Polyester modifié par des silicones Polyuréthane Poudre de polyester Silicones/silanes/polysiloxanes Ester aspartique
	Revêtement de métaux prélaqués (acier et aluminium)	Alternative disponible	
	Revêtement de pales d'éoliennes	Alternative disponible	
	Revêtement des panneaux solaires	Alternative disponible	Polyéthylène téréphtalate (PET) et/ou... Polyoléfine
Scellement et adhésifs	Scellement pour les matériaux poreux et le béton	Alternative disponible	1-Octanol, produits de réaction...* 2,4,7,9-tetraméthyldec-5-yn-4,7-diol isobutyltriéthoxysilane iso-Octyltriéthoxysilane Méthylsiliconate de potassium n-Octyltriéthoxysilane n-Octyltriméthoxysilane n-Propyltriméthoxysilane

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Poly(oxy-1,2-éthanediyl)...*
			Polysiloxane d'hydrogène méthylrique
			Siliconate de méthyle sodique
			Siloxanes et silicones, di-Me...*

4.4.1.4 Synthèse

Les PFAS sont utilisés dans de nombreuses applications du secteur de la construction, notamment dans des membranes architecturales et autres matériaux de couverture, les peintures et autres revêtements, les fils et les câbles, les produits d'étanchéité, les adhésifs, etc., en raison de leurs multiples propriétés de résistance aux environnements difficiles.

Le dossier de restriction indique que selon la littérature et les informations fournies par les parties prenantes lors des consultations publiques, l'utilisation annuelle des PFAS serait comprise entre 5 000 et 13 000 t (chiffres arrondis) en Europe.

Si la majorité des substances PFAS identifiées comme employées dans ce secteur sont non polymériques (47 sur 76 dans [1]), les fluoropolymères représentent la très grande majorité des usages, le PTFE étant le plus employé.

Le dossier de restriction conclut à la disponibilité d'alternatives pour l'ensemble des usages de PFAS en lien avec le secteur de la construction²³. Les seules réserves portent sur :

- Une éventuelle baisse de performance pour les revêtements, peintures et membranes sans PFAS (fibres de verre, PVC, polyester, etc.) exposées à des conditions climatiques difficiles dont la durée de vie pourrait être diminuée en cas d'exposition. Concernant ces applications, les alternatives sans PFAS sont par ailleurs largement dominantes sur le marché. Selon [5], « la pénétration globale du marché des fluoropolymères dans les revêtements de protection architecturaux est très faible, de l'ordre de 1 % ».
- L'impact d'une substitution du PTFE pour les applications comme appuis de structures, dans les cas où une combinaison d'un niveau élevé de performances est requis. L'utilisation de rouleaux d'acier qui semblent constituer une solution techniquement réalisable, impliquerait non seulement une hausse importante des coûts mais également la nécessité de concevoir les constructions différemment, ces rouleaux nécessitant beaucoup plus d'espace pour être mis en place.

Alors que la base d'information [83] indique un manque d'alternatives disponibles pour les applications à base de PFAS pour les revêtements de sols (linoléums, plastiques stratifiés), ce point ne fait pas l'objet d'une attention particulière dans [1].

²³ Voir [1], section E.2.13

4.4.2 Le secteur de l'énergie (SU23)

Les PFAS sont largement utilisés dans de nombreux pans de l'industrie de l'énergie, des centrales nucléaires aux centrales à charbon, des turbines éoliennes aux cellules photovoltaïques, ainsi que dans les batteries. Leur utilisation annuelle se situerait, selon le dossier de restriction, autour de 2 900 et 3 200 tonnes en Europe dont environ 80 % de fluoropolymères.

4.4.2.1 Substances employées

Les principaux fluoropolymères employés sont le PTFE, et le PFA (perfluoroalkoxy ou Teflon-PFA) représentant respectivement 65 %, 15 % des fluoropolymères employés.

Le Tableau 8 présente une première synthèse des sous-usages et applications liés aux PFAS dans ce secteur et laisse à voir le nombre élevé de substances PFAS différentes référencées.

Tableau 8 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de l'énergie (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Secteur de l'énergie	196
Applications pétrolières et gazières	112
Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)	3
Équipements	13
Fluide de forage	3
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	19
Produits chimiques de production	50
Produits chimiques de stimulation	10
Traceurs d'eau et de gaz	25
Batteries à flux	2
Membranes ioniques, membranes d'échange d'ions	2
Batteries lithium-ion	51
Joint, liants pour électrodes, films/revêtements, additifs pour électrolytes, pack/module de gestion thermique	51
Technologies de l'électrolyse (dont électrolyseurs de type PEM ou autre)	27
Matériaux d'étanchéité	21
Joint d'étanchéité, tubes, en ligne de tuyaux/réservoirs	6
Energie éolienne	78
Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)	3
Film/enrobage et câble	60
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	19
Énergie solaire	64
Capteur solaire	3
Film/ruban de revêtement de cellules photovoltaïques	64
Piles à combustible (dont PEM)	25
Assemblages membrane-électrode	5
Couche microporeuse	5
Scellement	25

Il faut noter que cet inventaire est réalisé à partir de la base d'information [83], et devrait, selon certains commentaires apportés lors de la consultation publique du dossier de restriction devoir, être complété. Les PFAS semblent notamment être employés comme liants d'électrodes dans les technologies émergentes de batteries comme Na-ion, Ni-Cd et Mn-ion. Les fluoropolymères sont également employés comme joints, notamment dans les pompes à chaleur. Enfin des usages dans les membranes ou d'autres matériaux employés pour la captation du CO₂ sont évoqués.

Le Tableau 9 constitue un inventaire des substances associées au plus grand nombre d'applications dans le secteur de l'énergie.

Tableau 9 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	12
Poly(oxy-1,2-ethanediyl)...	65545-80-4	8
8:2 Fluorotelomer alcohol	678-39-7	8
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	7
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	6
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8	5
Ethylene tetrafluoroethylene copolymer	25038-71-5	5
Fluorinated ethylene propylene	25067-11-2	5
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3	5
Potassium N-ethyl perfluorooctane sulfonamidoacetate	2991-51-7	5
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	5
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1	5
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2	5
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4	5
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	5
Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	5
6:2 Fluorotelomer alcohol	647-42-7	5
Poly(difluoromethylene)...	65530-70-3	5

4.4.2.2 Cartographie des usages

Le Tableau 10 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur de l'énergie en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 10 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur de l'énergie

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Applications pétrolières et gazières	Équipements	Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer la résistance dans les environnements difficiles Protection de l'équipement contre la corrosion induite par l'huile. Protection de l'équipement contre les températures extrêmement élevées	Retardateur de flammes Durcisseur Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [83]
	Film de surface aqueux	Empêcher l'évaporation des combustibles liquides pendant le stockage et le transport	Tensioactifs	
	Fluide de forage	Améliorer l'extraction du pétrole et du gaz	Mousse	
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Protection de la surface sur laquelle le lubrifiant est utilisé Réduire les pertes par frottement Résistance à une large gamme de températures	Retardateur de flammes Inhibiteur de corrosion Agent lubrifiant Stabilisateur thermique	
	Produits chimiques de production	<i>Déficit d'information</i>	Antimousse	
	Produits chimiques de stimulation	Améliorer les produits de stimulation de la récupération du pétrole/gaz	Tensioactifs	
	Traceurs d'eau et de gaz	Cartographier les réservoirs de pétrole et de gaz	Traceur	
Batteries à flux	Membranes ioniques, membranes échangeuses d'ions	Matériaux d'étanchéité résistant aux ions, à la corrosion, à une large gamme de températures, à l'usure et avec de bonnes propriétés mécaniques Résistance à une large gamme de températures	Durcisseur Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [83]
Batteries lithium-ion (et autres technologies de batterie émergentes)	Joint, liants pour électrodes, films/revêtements, composés pour films séparateurs, additifs pour électrolytes, pack/module de gestion thermique	Améliorer la durabilité Améliorer l'efficacité	Inhibiteur de corrosion Isolant Matériaux inertes chimiquement et stables électriquement Agent liant	[1] ; [4] ; [25] ; [33] ; [36] ; [55] ; [77] ; [83]
Energie éolienne	Revêtement de protection des pales d'éoliennes et tours d'éoliennes	Améliorer la durabilité Améliorer la résistance aux intempéries Agent imperméabilisant	Durcisseur Inhibiteur de corrosion Stabilisateur UV	[1] ; [36] , [83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Assurer une bonne stabilité à haute température Empêcher le développement de bactéries sur la surface	Stabilisateur thermique Conservateur	
	Film de démoulage pour pales d' ?éoliennes			
	Lubrifiants pour éoliennes	Faciliter l'assemblage des pièces Minimiser l'usure Réduction du bruit Réduire les pertes par frottement	Agent lubrifiant Isolant	
Énergie solaire	Panneaux solaires thermiques (solar collector)	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[1] ; [5] ; [9] ; [25] ; [29] ; [36] ; [55] ; [77], [83]
	Feuilles avant et arrière des modules PV (la feuille arrière PV est conçue pour protéger les composants internes du module, en particulier les cellules photovoltaïques et les composants électriques, des contraintes externes et pour agir comme un isolant électrique)	Revêtements, films, rubans avec des propriétés de répulsion de l'eau, résistances à l'usure, la salissure, aux intempéries (UV, humidité, températures), aux abrasions du sable, aux taches, stabilités thermique et électrique, poids léger, faible inflammabilité Améliorer la productivité Améliorer la résistance aux intempéries Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Améliorer l'efficacité Assurer une bonne stabilité à haute température Assurer une surface propre Empêcher le développement de bactéries sur la surface	Stabilisateur UV Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Retardateur de flammes Isolant Stabilisateur thermique Agent antiadhésif Conservateur	
Électrolyseur PEM / Piles à combustible PEM	Matériaux d'étanchéité dans les électrolyseurs à membranes échangeuses de proton	Améliorer la durabilité	Inhibiteur de corrosion Matériaux inertes chimiquement	[1] ; [4] ; [25] ; [36] ; [55] ; [77], [83]
Piles à combustible (dont PEM)	Assemblages membrane-électrodes (AME ou MEA)	Améliorer la durabilité	Agent imperméabilisant	[1] ; [4] ; [25] ; [36] ; [55] ; [77] ; [83]
	Couche de diffusion des gaz (GDL) pour les AME	Assurer la conversion de l'énergie chimique en électricité	Agent conducteur	
	Couche microporeuse	Améliorer l'efficacité	Isolant	
	Mastic d'étanchéité, joints	Résistance à une large gamme de températures	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		<i>Manque d'informations</i>	Liant Durcisseur	
Technologies de l'électrolyse (hors PEM)	Joint d'étanchéité, tubes, tuyaux pour l'électrolyse de l'eau alcaline (technologie de production d'hydrogène à grande échelle)	Matériaux stables, résistants à l'usure, aux produits chimiques, à la compression mécanique et au fluage Assurer la résistance dans les environnements difficiles	Durcisseur Inhibiteur de corrosion	[1] ; [25] ; [55] ; [77], [83]
Centrales nucléaires	Joints dans les infrastructure et cuves fermées	Matériaux inertes chimiquement	Inhibiteur de corrosion	[1] ; [36]
Centrales électriques (dont centrales au charbon)	Usages dans les tubes pour échangeurs de chaleur, et dans les filtres des particules	Résistance à l'usure Matériaux résistants aux hautes températures, à la vapeur, aux UV et aux produits chimiques		[1] ; [25], [36]
Autres applications	Appareils de commutation haute tension	Améliorer la durabilité Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Améliorer l'efficacité Assurer une bonne stabilité à haute température	Inhibiteur de corrosion Retardateur de flammes Isolant Stabilisateur thermique	

4.4.2.3 Disponibilité des alternatives

Le dossier de restriction et la base d'information fournissent des informations sur la disponibilité d'alternatives sur le marché. Ceci doit être interprété comme un premier niveau d'information en matière de substitution mais l'analyse réelle des alternatives reste généralement à confronter aux conditions réelles d'application. Le Tableau 11 présente les applications selon une échelle de disponibilité des alternatives établie sur la base des informations non nomenclaturées présentes dans la base [83]. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : équipements dans les applications pétrolières) en fonction du type d'alternative envisagée. Le Tableau 12 mentionne les alternatives identifiées.

Tableau 11 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Applications pétrolières et gazières	Équipements Lubrifiants et additifs pour lubrifiants Produits chimiques de production Traceurs d'eau et de gaz
	Piles à combustible PEM	Scellement
	Énergie éolienne	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
	Énergie solaire	Film/ruban de revêtement de cellules photovoltaïques
	Autres applications	Appareils de commutation haute tension
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Applications pétrolières et gazières	Équipements Film de surface aqueux Produits chimiques de production Produits chimiques de stimulation
	Batteries à flux	Membranes ioniques, membranes d'échange d'ions
	Batteries lithium-ion	Joints, liants pour électrodes, films/revêtements, additifs pour électrolytes, pack/module de gestion thermique
	Électrolyseur PEM	Matériaux d'étanchéité
Alternative au stade recherche et développement	Piles à combustible PEM	Assemblages membrane-électrode
	Batteries lithium-ion	Joints, liants pour électrodes, films/revêtements, additifs pour électrolytes, pack/module de gestion thermique
	Énergie solaire	Capteur solaire
Manque d'informations	Piles à combustible PEM	Couche microporeuse
	Technologies de l'électrolyse	Joint d'étanchéité, tubes, en ligne de tuyaux/réservoirs

Tableau 12 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur de l'énergie

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Applications pétrolières et gazières	Équipements	Alternative disponible/Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Alliages à base de nickel (avec Cu, Mo et Cr) Alliages de base de cuivre (avec Ni, Fe, Mn) Caoutchouc nitrile hydrogéné (HNBR) Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Fibre de verre Fibres de carbone Matériaux à base de céramique Polyamides Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK) Polyéthylène réticulé (XL PE) Solutions à base de cellulose Systèmes à base d'époxy
	Film de surface aqueux	Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Alkyl éthoxy carboxylés Alkylphénols polyéthoxylés Ethoxylate d'alcool de tridécyle 30 (TDA 30 EO) Éthoxylate d'alcool secondaire Éthoxylate de nonylphénol NEODOL 67 Sulfate propoxylé (N67-7POS) NEODOL éthoxylate 91-8 NEODOLs surfactant[1] Poly(éthylène/propylène) éther de glycol Polyglycoside d'alkyle (APG) Synperonic® PE/F68 Tergitol surfactants
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Alternative disponible	Triphénylméthane (TPM) Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS2) Graphène (modifié) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes Laque dorée phénolique-mélatamine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE)
	Produits chimiques de production	Alternative disponible/Alternative disponible mais pertinence à démontrer	2,6-diméthylheptan-4-one Alternatives à base de PDMS (poly(diméthylsiloxanes)) Éther monométhyle du dipropylène glycol Polymères de silicone Polypropylène glycol (PPG) Produits à base de 1,2,4-triméthylbenzène Produits à base de naphtalène Siloxanes d'éthyle
	Produits chimiques de stimulation	Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Alkoxy sulfate Alkyl (ou alcool) éthoxy sulfate (AES) Alkyl aryl polyalkoxy alkyl sulfonate Alkyl polyalkoxy alkyl sulfonate Alpha-oléfine sulfonate (AOS)

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Traceurs d'eau et de gaz	Alternative disponible	Docusate de sodium Éthoxy glycidyl sulfonates N-Ethoxy sulfonate Propoxy glycidyl sulfonates Sulfate d'alcool alkylique propoxylé Sulfate d'alcool propoxy (APS) Sulfate d'alkyle (AS) Sulfate d'alpha oléfine Sulfate de sodium et de dodécyle (SDS) Sulfates d'éther d'alkyle (AES) Sulfonate d'alkyl benzène ramifié Sulfonate d'alkylbenzène (linéaire) Sulfonate interne d'oléfine (IOS) Sulfonates d'alkyle et d'aryle Tensioactifs anioniques Gemini 110mAg 124Sb 131I 133Xe 140La 192Ir 24Na 41Ar 46Sc 56Mn 99mTc Acides benzoïques fluorés (FBA) Hydrocarbures polyhalogénés (par exemple, fréon-11 et -12) Traceurs isotopiques radioactifs/radiomarqués, par exemple gaz inorganiques krypton ou xénon Traceurs isotopiques radioactifs/radiomarqués, par exemple traceurs marqués au d13C ou d18O
Batteries à flux	Membranes ioniques, membranes d'échange d'ions	Alternative au stade recherche et développement	Batteries à électrolyte solide
Batteries lithium-ion	Joints, liants pour électrodes, films/revêtements, additifs pour électrolytes, pack/module de gestion thermique	Alternative au stade recherche et développement/Incertain	Batteries à électrolyte solide Batteries au plomb Élastomères d'hydrocarbures
Électrolyseur PEM	Matériaux d'étanchéité	Alternative au stade recherche et développement	Élastomères d'hydrocarbures Ionomères/polymères sulfonés Matériaux électrofilés de type polybenzimidazole Membrane d'hydrocarbures Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK)
Energie éolienne	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Alternative disponible	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS2) Graphène (modifié) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Laque dorée phénolique-mélatamine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE)
Énergie solaire	Film/ruban de revêtement de cellules photovoltaïques	Alternative disponible	Polyéthylène téréphtalate (PET) et/ou éthylène-acétate de vinyle (EVA) Polyoléfine
Piles à combustible PEM	Assemblages membrane-électrode	Alternative au stade recherche et développement	Matériaux électrofilés de type polybenzimidazole Membrane d'hydrocarbures Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK) Polysulfone (PSU)
	Scellement	Alternative disponible	Élastomères d'hydrocarbures Élastomères sans fluor
Autres applications	Appareils de commutation haute tension	Alternative disponible	Hexafluorure de soufre (SF6)

4.4.2.4 Synthèse bibliographique

En raison de leur large gamme de propriétés, les PFAS sont largement utilisés dans l'industrie de l'énergie. Ils sont en particulier employés dans les industries des semi-conducteurs, des batteries et des piles à combustible, pour certaines technologies de capture/séparation du CO₂, et sont ainsi destinés à voir leurs usages augmenter du fait des objectifs de neutralité carbone. Bien que ne disposant pas d'études précises sur lesquelles s'appuyer, le dossier de restriction retient en s'appuyant sur la consultation des parties prenantes un taux de croissance annuel de 10% pour l'utilisation (et les émissions) de PFAS dans le secteur énergétique, se traduisant en l'absence de l'emploi d'alternatives par une multiplication par un facteur 17 d'ici à 2050 et 115 d'ici à 2070.

A ce jour, l'utilisation annuelle des PFAS serait comprise entre 2 900 et 3 200 t (chiffres arrondis) en Europe, dont 1 600 t dans les batteries (principalement PVDF et PTFE).

La majorité des substances PFAS identifiées comme employées dans ce secteur sont des fluoropolymères (23 sur 40 dans [1]), et cela reste vrai en termes de volumes d'usage : [1] indique que 84 % des PFAS utilisés sont des fluoropolymères, le PTFE, le PFA et un ionomère de PFSA représentant respectivement 65 %, 14 % et 5 % de cette part.

D'une manière générale, le diagnostic sur la disponibilité d'alternatives reste à mener précisément. En l'état actuel, le dossier de restriction ne prévoit pas de dérogation générale sur le secteur, mais seulement une dérogation de 5 ans pour les membranes échangeuses de protons employées dans les piles à combustible. Il est toutefois fait mention qu'une analyse plus fine pourrait conduire à proposer certaines dérogations ciblées plus longues. Cette proposition repose sur les constats suivants :

- Pour quelques applications dont les revêtements protecteurs de panneaux solaires, des alternatives sont d'ores et déjà disponibles²⁴. Si elles représentent aujourd'hui une part minoritaire par rapport aux applications à base de PFAS, aucun obstacle majeur à leur appropriation par le marché n'est identifié.
- Pour plusieurs applications, dont les applications éoliennes et en matière de prospection minière, aucune information n'a été reçue.
- Pour un nombre important d'applications, notamment celles en lien avec les impératifs d'étanchéité (divers joints d'étanchéité, méthodes de scellement), des alternatives semblent possibles, mais vraisemblablement moins performantes en conditions difficiles (stress chimique, thermique, etc.). Il sera donc nécessaire d'éprouver leur compatibilité avec les conditions particulières d'utilisation et il n'est pas garanti des solutions de substitutions soient finalement disponibles à horizon de 5 à 10 ans.
- Concernant les membranes échangeuses de proton employées en électrolyse et pour les piles à combustible, il est établi qu'il n'existe pas d'alternative à l'emploi de fluoropolymères immédiatement disponibles et que des efforts de recherche sont en cours pour développer des solutions de substitution. Plusieurs matériaux sont candidats. Néanmoins, des contraintes importantes en matière de stabilité et de fiabilité (durée de vie) laissent penser qu'aucune solution viable n'émergera dans les 5 à 10 prochaines années.

²⁴ Voir également : <https://chemsec.org/knowledge/beyond-pfas/#solar-panels>. Des alternatives à base de PET et de polypropylène sont mentionnées.

4.4.3 Les mousses anti-incendie (SU0)

Les mousses anti-incendie sont utilisées pour éteindre les feux impliquant des liquides inflammables. Les PFAS peuvent y jouer un rôle important en tant que surfactants, formant un film à la surface du liquide en feu pour empêcher la libération de gaz inflammables et prévenir tout risque de réinflammation.

Les PFAS dans les mousses anti-incendie ont fait l'objet d'un projet de restriction spécifique²⁵ et la consommation totale de mousses anti-incendie contenant des PFAS dans l'UE est estimée à environ 14 000 tonnes par an. Cependant cette estimation repose sur des données incomplètes en raison de leur confidentialité, ce qui laisse supposer une consommation réelle bien plus élevée.

Les Tableau 13 à Tableau 17 reprennent la trame des sections précédentes pour présenter les informations et les applications sur les alternatives telles qu'elles sont disponibles dans la base d'information [83], c'est-à-dire pas types de mousses anti-incendie. Des informations plus spécifiques aux secteurs employant ces mousses sont disponibles notamment dans le dossier de restriction et dans [11]. L'industrie chimique et pétrochimique est le principal utilisateur, représentant 59 % de cette consommation. Les autres applications majeures incluent les services d'incendie municipaux, les secteurs maritimes, les aéroports et les forces armées.

Tableau 13 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des mousses anti-incendies (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Mousses anti-incendie	325
Mousse aqueuse formant un film résistant à l'alcool (AR-AFFF)	7
Mousse de fluoroprotéine formant un film (FFFP)	6
Mousse fluoroprotéique	4
Mousse fluoroprotéique formant un film résistant à l'alcool (AR-FFFP)	15
Mousses aqueuses filmogènes (AFFF)	317

Tableau 14 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
1-Propanesulfonic acid...-	1513864-10-2	4
1-Propanesulfonic acid...-	62880-95-9	4
1-Propanaminium...	88992-46-5	4
1-Propanaminium...-	1513864-18-0	3
6:2 Fluorotelomer sulfonamide betaine	34455-29-3	3
1-Propanesulfonic acid...	1333933-57-5	2
Perfluorooctane sulfonamido amine	13417-01-1	2
1-Propanaminium...	1513864-03-3	2
1-Propanesulfonic acid...	1513864-12-4	2
1-Propanaminium...	1513864-16-8	2
1-Propanaminium...	1513864-17-9	2
7:1:2 Fluorotelomer betaine	171184-03-5	2
7:3 Fluorotelomer betaine	171184-15-9	2
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	27619-97-2	2
1-Octanesulfonamide...	34455-22-6	2
1-Propanaminium...	727351-53-3	2

²⁵ <https://echa.europa.eu/documents/10162/4524f49c-ae14-b01b-71d2-ac3fa916c4e9>

Tableau 15 : Panorama des usages de PFAS dans les mousses anti-incendie

Applications	Service	Fonction technique	Sources :
Mousse aqueuse formant un film résistant à l'alcool (AR-AFFF)	Améliorer la sécurité incendie	Tensioactifs	[2] ; [4] ; [9] ; [11] ; [12] ; [13] ; [15] ; [16] ; [21] ; [25] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [36] ; [55] ; [57] ; [63] ; [71] ; [76] ; [78] ; [83]
Mousse de fluoroprotéine formant un film (FFFP)	Empêcher la réinflammation		
Mousse fluoroprotéique	Empêcher le dégagement de gaz inflammables		
Mousse fluoroprotéique formant un film résistant à l'alcool (AR-FFFP)			
Mousses aqueuses filmogènes (AFFF)			

Tableau 16 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Mousses anti-incendie	Mousse aqueuse formant un film résistant à l'alcool (AR-AFFF) Mousse de fluoroprotéine formant un film (FFFP) Mousse fluoroprotéique Mousse fluoroprotéique formant un film résistant à l'alcool (AR-FFFP) Mousses aqueuses filmogènes (AFFF)

Dans le Tableau 17, les alternatives référencées sont identiques pour tous les types d'application.

Tableau 17 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des mousses anti-incendies

Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Mousse aqueuse formant un film résistant à l'alcool (AR-AFFF)	Alternative disponible	Ansul NFF 3x3 UL 201
Mousse de fluoroprotéine formant un film (FFFP)	Alternative disponible	Auxquimia Unipol-FF 3/3S - Mousse concentrée sans fluor (3X3)
Mousse fluoroprotéique	Alternative disponible	Chemguard NFF 3x3 UL 201
Mousse fluoroprotéique formant un film résistant à l'alcool (AR-FFFP)	Alternative disponible	Dwight's Shield Series AR-Synthetic 3x3% (en anglais)
		Ecopol 3 Premium
		Eco-Safe 3% Protein - Mousse sans fluor (F3)
		Enviro 3% ICAO - Mousse anti-incendie sans fluor
		Enviro 3x3 Plus - Mousse anti-incendie sans fluor
		Enviro 3x3 Ultra - Mousse anti-incendie sans fluor
		Enviro eMax - Mousse concentrée sans fluor
		Enviro USP - Mousse sans fluor
		FireEx® C-M concentré de mousse anti-incendie
		FireEx® C-Marine - Concentré de mousse anti-incendie
		FireRein Eco-Gel™ - Gel de lutte contre l'incendie
		Foamousse 3% F-15
		Hydral NFF 3x3 UL 201
		Mousse anti-incendie sans fluor
		Mousses sans fluor : Jetfoam ICAO-C 3% et Jetfoam ICAO-C 6%.
		Moussol-FF 3/6 F-5
		National Foam Concentrés de mousse synthétique sans fluor
		Orchidex BlueFoam 3x3
		RE-Cicatrisation RF1
Mousses aqueuses filmogènes (AFFF)	Alternative disponible	RE-Cicatrisation RF3x6 ATC

Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
		Respondol ATF 3/6 SKUM NFF 3x3 UL201 - Mousse concentrée non fluorée Solberg® Versagard™ AS-100 - Mousse concentrée polyvalente 3x3 sans fluor T-Storm NFF 3x3 UL 201 Universal®F3 Mousse anti-incendie verte sans fluor X-Fog : extinction des incendies plus efficace - convient également pour le bois et les textiles

4.4.3.1 Synthèse

De façon générale, il existe des alternatives sans PFAS, techniquement et économiquement réalisables pour la plupart des applications. Si des alternatives existent, des essais supplémentaires avec différents liquides inflammables peuvent parfois être encore nécessaires par leurs utilisateurs, afin de s'assurer de leur efficacité dans des scénarios d'incendie variés. Pour certains cas détaillés ci-après, la disponibilité des alternatives n'est peut-être pas totale et immédiate, et une transition de plusieurs années a été proposée par l'ECHA à la Commission Européenne dans le cadre de la Restriction REACH en cours d'examen.

Pour certaines applications dans les installations industrielles à haut risque, et le secteur de la défense, l'efficacité des alternatives sans fluor n'a pas été entièrement démontrée. Dans le cas des utilisations les plus exigeantes sur des sites couverts par la directive Seveso III, la stratégie globale incluant des mousses anti-incendie adaptées, des équipements et des stratégies de lutte contre l'incendie appropriés peut être encore en cours de développement. L'usage des alternatives pourrait parfois conduire à devoir installer des systèmes de lutte contre l'incendie appropriés et mettre en place des techniques de lutte contre l'incendie adéquates, tels que des systèmes fixes évitant l'application forcée de mousse. La transition vers l'utilisation de mousses sans fluor dépend de différents facteurs, dont certains nécessitent encore un retour d'expérience provenant de l'utilisation réelle pour garantir que les alternatives offrent le même niveau de protection contre l'incendie.

Dans le secteur de la défense, il peut être particulièrement difficile de trouver des alternatives appropriées en raison des contextes d'utilisation spécifiques. En particulier les niveaux de performance requis peuvent être plus élevés que dans des applications civiles, et les conditions de stockage plus éprouvantes pour la durabilité des mousses.

En ce qui concerne les extincteurs portatifs, la faisabilité et la disponibilité de solutions de remplacement sans fluor pour tous les scénarios d'utilisation ne sont pas entièrement établies, en particulier pour les utilisations dans des situations où la température ambiante de stockage et d'emploi des mousses serait très basse.

4.4.4 La production industrielle de PFAS

Les PFAS peuvent eux-mêmes être employés pour la production d'autres PFAS. C'est principalement ce type de production qui est présenté dans cette partie.

Néanmoins, il faut noter que la base d'information associée à ce rapport présente également dans ce secteur « production industrielle » d'autres types de production pour lesquels les PFAS sont nécessaires. A titre d'exemple, les PFAS peuvent être employés dans d'autres industries, comme l'industrie pharmaceutique en tant qu'auxiliaire de synthèse, la production de plastiques et caoutchoucs pour le démoulage des pièces, ou dans les joints, valves, membranes employés ordinairement dans l'industrie. Dans cette section, ces informations sur les autres productions industrielles seront présentées séparément et doivent être considérées avec plus de précautions car elles proviennent généralement et indirectement de la publication de Glüge et al. [36] qui est moins précise que le dossier de restriction et tire parfois ses informations de l'analyse de brevets, donc d'applications potentielles dont la concrétisation n'est pas toujours avérée.

La France est particulièrement concernée par la production de PFAS car elle porte à ce jour sur son territoire 5 des 20 usines européennes :

- L'usine Arkema de Pierre-Bénite dans le département du Rhône, qui emploie environ 400 personnes, et qui produit, selon le site de l'industriel, des gaz fluorés, du PVDF destiné au marché des semi-conducteurs et des batteries Lithium-ion et des sels de lithium fluorés employés pour la fabrication des électrolytes des mêmes batteries Lithium-ion.
- L'usine Daikin de Pierre-Bénite, employant entre 50 et 99 personnes, qui produit des élastomères fluorés principalement destinés à l'industrie automobile (joints et durites).
- L'usine Syensqo de Tavaux dans le Jura, qui compte 750 travailleurs. Elle est spécialisée dans la fabrication de polymères utilisés notamment dans l'industrie alimentaire, l'industrie pharmaceutique, l'aéronautique ou le secteur automobile. Elle produit en particulier du PVDF pour les batteries Lithium-ion. Le dossier de restriction indique également la production de PTFE, de PFBA et de gaz fluorés (HFA, HFC-365mfc).
- L'usine Chemours à Villers-Saint-Paul dans l'Oise, employant actuellement 60 personnes a été autorisée par arrêté préfectoral du 19 janvier 2024 à étendre ses activités pour la fabrication de membranes échangeuses d'ions utiles à la production d'hydrogène. Néanmoins, l'arrêt de son activité a été pour l'été 2025.
- Enfin l'usine Solvay de Salindres dans le Gard, qui compte 68 employés mais dont la fermeture a été annoncée. D'après le dossier de restriction cette usine participe à la production de d'acide trifluoroacétique (TFA), d'acide trifluorométhanique (TFMS), de trifluoromethanesulfonate de potassium et d'anhydride triflique (ou trifluoromethanesulfonique).

D'une manière générale, la production de fluoropolymères nécessite l'emploi d'auxiliaires de polymérisation, surfactants ou émulsifiants, qui peuvent être fluorés ou non. Les PFOA, PFNA, PFHxA, 6:2 FTSA, ADONA comptent (ou comptaient) parmi les PFAS employés comme tels, et plusieurs industries déclarent actuellement travailler à leur remplacement par des auxiliaires de polymérisation non fluorés.

Les données de production sont très incertaines et portent seulement sur quelques substances. A titre informatif, celles retenues dans le dossier de restriction sont présentées dans le Tableau 18.

Tableau 18 : Quantités de PFAS produites dans l'espace économique européen, (en tonnes/an) – Valeurs arrondies issues du dossier de restriction

Groupe	Estimation basse	Estimation moyenne	Estimation haute
PFAA et précurseurs de PFAA	53 000	86 000	118 000
Gaz fluorés	15 000	96 000	177 000

Fluoropolymères	49 000	75 000	102 000
-----------------	--------	--------	---------

Les Tableau 19 et Tableau 20 ci-dessous présentent un inventaire synthétique des applications employant des PFAS telles que répertorié dans la base d'information associée à ce rapport. Les secteurs de la chimie et de la fabrication de fluoropolymères sont présentés indépendamment car pour les raisons mentionnées plus haut, une partie des informations présentes dans le second tableau peuvent être à rapprocher des résultats présentés dans d'autres sections de ce rapport.

Tableau 19 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de la production industrielle de fluoropolymères et dans l'industrie de la chimie (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Production industrielle (production de PFAS et chimie)	62
Production de polymères fluorés	34
Adjuvant pour la production de poly(vinyl fluoride) (PVF)	2
Adjuvant pour la production de poly(vinylidene fluoride) (PVDF)	8
Adjuvant pour la production de polytetrafluoroethylene (PTFE)	23
Auxiliaire de transformation de production du polymère perfluoroalcoxy (PFA)	2
Auxiliaire de transformation de production pour la production d'autres fluoropolymères	10
Auxiliaire de transformation de production pour l'éthylène propylène fluoré (FEP)	2
Industrie chimique	28
Durcissement des polymères	2
Liquides ioniques	1
Matériel technique	4
Production d'autres produits chimiques	15
Production de chlore et d'hydroxyde de sodium via des membranes à base de fibres d'amiante	1
Solvants	9

Tableau 20 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de la production industrielle (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Production industrielle (hors production de PFAS et chimie)	147
Industrie alimentaire	2
Caves et laiteries	2
Industrie pharmaceutique	5
Auxiliaires technologiques pour la fabrication de particules "microporeuses"	1
Récipients de réaction, agitateurs et autres composants remplaçant les composants traditionnels en acier inoxydable ou en verre	4
Industrie photographique	95
Matériel photographique	84
Solutions de traitement photographique	12
Papier et emballage	2
Fabrication de pâte à papier, de papier et de produits en papier	2
Production de plastique et de caoutchouc	42
Agent de démoulage dans le gazon artificiel (l'utilisation des PFAS comme agent de démoulage est basée sur des informations provenant d'une source non vérifiée)	2
Agent de démoulage en général	29
Aide à la transformation du chlorure de vinyle (PVC)	3
Auxiliaire de synthèse pour C4-acrylates	1
Auxiliaire de synthèse pour l'éthylène	1
Auxiliaires technologiques pour la fabrication de matières plastiques et de résines	2
Gravure sur plastique	1
Mousse à souffler	3

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Régulateur de mousse	1
Traitement du bois	16
Fabrication de bois et de produits en bois et en liège	5
Filtration dans le processus de fabrication de fûts	1
Matériaux de construction en bois	9
Revêtement pour substrat en bois	1

4.4.4.1 Cartographie des usages

Le Tableau 21 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur de la production industrielle en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

D'une manière générale, les informations sont parcellaires.

Tableau 21 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans la production industrielle

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Production de polymères fluorés (SU11)	Auxiliaire de transformation pour la production du polymère perfluoroalcoxy (PFA)	Assurer une bonne dissolution des monomères dans l'eau	Intermédiaires réactionnels <i>Manque d'informations</i>	[4] ; [27] ; [28] ; [36] ; [62], [83]
		Augmenter le taux de polymérisation		
		Stabiliser les polymères fluorés		
	Auxiliaire de transformation pour la production pour l'éthylène propylène fluoré (FEP)	Assurer une bonne dissolution des monomères dans l'eau		
	Auxiliaire de transformation pour la production de poly(vinyl fluoride) (PVF)	<i>Manque d'informations</i>		
	Auxiliaire de transformation pour la production de poly(vinylidene fluoride) (PVDF)	<i>Manque d'informations</i>		
	Auxiliaire de transformation pour la production de polytetrafluoroéthylène (PTFE)	<i>Manque d'informations</i>		
		Assurer une bonne dissolution des monomères dans l'eau		
		Augmenter le taux de polymérisation		
Industrie agro-alimentaire	Caves et laiteries	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[83]
		<i>Manque d'informations</i>		
Industrie chimique	Durcissement des polymères	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[83]
	Liquides ioniques	<i>Manque d'informations</i>	Inhibiteur de corrosion	[83]
	Matériel technique	Assurer la durabilité	Stabilisateur thermique	[83]
	Production d'autres produits chimiques	<i>Manque d'informations</i>	Liant	[83]
	Production de chlore et d'hydroxyde de sodium via des membranes à base de fibres d'amiante	<i>Manque d'informations</i>	Solvant	[83]
	Solvants	Assurer un bon contrôle de la composition du mélange		[83]
Industrie pharmaceutique	Auxiliaires technologiques pour la fabrication de particules "microporeuses"	<i>Manque d'informations</i>	Aide à la transformation	[83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Récipients de réaction, agitateurs et autres composants remplaçant les composants traditionnels en acier inoxydable ou en verre	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[83]
Industrie photographique (SU0)	Matériel photographique : Films (négatifs (noir et blanc et couleur), inversibles en couleurs, ciné et télévision), radiographies, papiers (inversibles en couleurs et positif (y compris noir et blanc)) et plaques reprographiques n/b	Assurer une bonne qualité du produit final <i>Manque d'informations</i>	Agent mouillant Surfactants Antimousse	[12] ; [15] ; [17] ; [27] ; [29] ; [36] ; [55] ; [76], [83]
	Solutions de traitement photographique	Assurer une meilleure efficacité du processus	Agent antistatique	
Papier et emballage	Fabrication de pâte à papier, de papier et de produits en papier	Augmenter l'efficacité de la transformation	Agent mouillant	[83]
Production de plastique et de caoutchouc (SU11, SU12)	Auxiliaire de transformation pour la fabrication pour C4-acrylates	Augmenter l'efficacité de la transformation	Agent mouillant	[83]
		Permet de mesurer la bonne qualité du polymère final		
	Thermoplastiques	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[12] ; [16] ; [25] ; [26] ; [36]
	Auxiliaire de transformation pour la fabrication pour l'éthylène	Augmenter l'efficacité de la transformation	Agent mouillant	[83]
		Permet de mesurer la bonne qualité du polymère final	Agent mouillant	[83]
	Agent de démoulage dans le gazon artificiel	<i>Informations provenant d'une source non vérifiée</i>	<i>Manque d'informations</i>	[83]
	Agent de démoulage en généra	Améliorer le démoulage	Agent imperméabilisant	[83]
		Assurer une bonne qualité du produit final	Agent mouillant	
	Aide à la transformation du chlorure de vinyle (PVC)	Augmenter l'efficacité de la transformation	Agent mouillant	[83]
		Assurer la bonne qualité du polymère final	Agent mouillant	
	Auxiliaires technologiques pour la fabrication de matières plastiques, de caoutchouc et de résines (PE, terpolymères, VDF, HFP, TFE, PVC, Résines polycarbonates)	Augmenter l'efficacité de la transformation	Agent mouillant Agents antistatiques Agents de démoulage Retardateurs de flamme	[12] ; [16] ; [25] ; [26] ; [36]
		Permet de mesurer la bonne qualité du polymère final	Agent mouillant	
	Gravure sur plastique	<i>Incertain</i>	Agent mouillant	[83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Mousse à souffler	<i>Manque d'informations</i>	Mousse	[83]
	Régulateur de mousse	<i>Manque d'informations</i>	Antimousse	[83]
Traitement du bois	Fabrication de bois et de produits en bois et en liège	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	[83]
	Filtration des fûts	Assurer la durabilité	Inhibiteur de corrosion	[83]
	Matériaux de construction en bois	<i>Manque d'informations</i>	Agent mouillant	[83]
	Revêtement pour substrat en bois	Assurer la durabilité	Inhibiteur de corrosion	[83]
			Stabilisateur thermique	[83]
Industrie des encres et colorants (SU9)	Fabrication d'encres et de colorants	<i>Manque d'informations</i>	Intermédiaires réactionnels Agents mouillants Tensioactifs	[4] ; [5] ; [15] ; [16] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [36]

4.4.4.2 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 22 présente les informations incluses dans la base d'information associée à ce rapport quant à la disponibilité d'alternatives aux PFAS pour chacune des applications. Les informations en lien avec les sous-usages distincts de la production de fluoropolymères doivent néanmoins être considérées avec précaution car elles n'ont généralement pas fait l'objet de recherches d'alternatives spécifiques dans le cadre du dossier de restriction. Inversement, les modes de production de quelques fluoropolymères seulement ont pu être étudiés. Il est probable que le nombre d'applications pour lesquelles les alternatives non PFAS ne sont pas disponibles ou en cours de développement à ce jour soit sous-évalué. Dans ce tableau, certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : Auxiliaire de PVF) en fonction du type d'alternative envisagée.

Tableau 22 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Production de polymères fluorés	Adjuvant pour la production de poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Adjuvant pour la production de polytetrafluoroethylene (PTFE)
Alternative au stade recherche et développement	Production de polymères fluorés	Auxiliaire de transformation de poly(vinyl fluoride) (PVF) Auxiliaire de transformation de production du polymère perfluoroalcoxy (PFA) Auxiliaire de transformation de production pour la production d'autres fluoropolymères Auxiliaire de transformation de production pour l'éthylène propylène fluoré (FEP)
Incertain	Production de polymères fluorés	Auxiliaire de transformation de poly(vinyl fluoride) (PVF) Auxiliaire de transformation de poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Auxiliaire de transformation de polytetrafluoroethylene (PTFE) Auxiliaire de transformation de production du polymère perfluoroalcoxy (PFA) Auxiliaire de transformation de production pour l'éthylène propylène fluoré (FEP) Auxiliaire de transformation de production pour la production d'autres fluoropolymères
Pas d'alternative identifiée	Industrie alimentaire Industrie chimique Industrie pharmaceutique Industrie photographique Papier et emballage Production de plastique et de caoutchouc	Caves et laiteries Durcissement des polymères Liquides ioniques Matériel technique Production d'autres produits chimiques Production de chlore et d'hydroxyde de sodium via des membranes à base de fibres d'amiante Solvants Auxiliaires technologiques pour la fabrication de particules "microporeuses" Récipients de réaction, agitateurs et autres composants remplaçant les composants traditionnels en acier inoxydable ou en verre Matériel photographique Solutions de traitement photographique Fabrication de pâte à papier, de papier et de produits en papier Agent de démoulage dans le gazon artificiel (l'utilisation des PFAS comme agent de démoulage est basée sur des informations provenant d'une source non vérifiée) Agent de démoulage en général Aide à la transformation du chlorure de vinyle (PVC) Auxiliaire de transformation de fabrication pour C4-acrylates Auxiliaire de transformation de fabrication pour l'éthylène Auxiliaires technologiques pour la fabrication de matières plastiques et de résines Gravure sur plastique Mousse à souffler

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
	Traitement du bois	Régulateur de mousse Fabrication de bois et de produits en bois et en liège Filtration des fûts Matériaux de construction en bois Revêtement pour substrat en bois

Le Tableau 23 présente les alternatives répertoriées pour la production de fluoropolymères. D'une manière générale, ces alternatives sont en cours de développement, excepté pour le PVDF et le PTFE pour lesquels certaines parties prenantes estiment qu'elles sont déjà disponibles.

Tableau 23 : Recensement des alternatives disponibles pour la production de fluoropolymères

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées
Fabrication de polymères fluorés	Auxiliaire de production du perfluoroalcoxy (PFA) Auxiliaire de production d'autres fluoropolymères Auxiliaire de production de l'éthylène propylène fluoré (FEP) Adjuvant pour la fabrication de poly(vinyl fluoride) (PVF) Adjuvant pour la fabrication de poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Adjuvant pour la fabrication de polytetrafluoroethylene (PTFE)	Acide propanesulfonique, 2-hydroxy-3-(2-propène-1-yloxy)-, sel de sodium Acrylate de polypropylène glycol (PPGA) Arrêt progressif de l'utilisation des polymères fluorés Biphényles Chlorure de stéaramidométhylpyridine Dérivés du naphtalène Diméthacrylate de polypropylène glycol Diméthyl polyéthylène glycol (DMPEG) Éther butylique du polyéthylène glycol (PEGBE) Méthacrylate de poly(propylène glycol) Méthacrylate de polyéthylène glycol Méthacrylate de polypropylène glycol (PPG-MA) Naphtalènes propylés Oxyde de polyéthylène glycol phénolique (Triton X-100) Polyéthylène glycol (PEG) Polyéthylène glycol acrylate (PEGA) Polypropylène glycol (PPG) Polypropylène glycol éther, amines Polypropylène glycol éther, sulfates Polytétraméthylène glycol (PTMG) Siloxanes et polymères de silicone Sulfate d'éther polyglycolique d'alcool gras Sulfosuccinates Tensioactifs à base d'hydrocarbures

4.4.4.3 Synthèse

Certains PFAS comme le PFOA ou le PFOS ont été employés pendant des décennies afin de produire des fluoropolymères. Ces substances ont été progressivement substituées par d'autres PFAS et des efforts de recherche et développement portent aujourd'hui sur la substitution au moyen de substances non fluorées.

Ces efforts seront d'autant plus utiles si à moyen terme aucune alternative n'est identifiée pour certaines applications de fluoropolymères comme le PTFE, le PVDF employé dans les batteries lithium-ion, ou le FEP dont les applications sont nombreuses en électronique.

En l'état des informations disponibles, dresser un inventaire complet et à jour des possibilités de substitution dans le domaine de la fabrication des fluoropolymères est complexe. Ce travail n'a pas pu être fait dans le cadre de ce rapport, mais mériterait des études spécifiques car les usines de production de PFAS comptent à ce jour parmi les émetteurs identifiés de PFAS dans l'environnement français et européen.

Le dossier de restriction indique disposer d'éléments suffisants pour juger que les alternatives non-fluorées seront disponibles à court terme pour la production de PTFE, de PVDF et de KFM. En revanche, une dérogation de 10 ans est prévue pour les autres fluoropolymères, offrant, selon une partie des acteurs interrogés, un horizon suffisant pour concrétiser la substitution.

4.4.5 Les gaz fluorés

La définition des PFAS retenue par l'OCDE et dans le cadre du dossier de restriction couvre (également) des petites molécules qui sont des gaz, les gaz fluorés, dont une grande partie est couverte par le règlement 2024/573 relatif aux gaz à effet de serre fluorés²⁶.

Les gaz fluorés sont principalement employés dans les systèmes de refroidissement, climatisation et chauffage pour les transferts de chaleur (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs, pompes à chaleur, etc.). Cependant, entre un quart et un cinquième des gaz fluorés sont employés dans nombre d'autres applications : pour le gonflement des mousses, comme fluide fonctionnel (par exemple comme gaz propulseur dans certaines applications médicales, ou comme solvant porteur de lubrifiants), comme gaz de couverture ou gaz d'isolation dans des équipements électriques, etc.

Le dossier de restriction présente pour ce secteur des volumes d'usage importants. En 2018, 30 671 tonnes de gaz fluorés ont été employées dans des produits nouvellement fabriqués en Europe²⁷, dont 24 093 tonnes (79%) dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. A ces volumes, doivent être ajoutés 493 173 tonnes présentes dans les systèmes en cours d'utilisation, dont 404 315 tonnes dans les systèmes de réfrigération et de climatisation (82 %)²⁸.

²⁶ Il n'y a toutefois pas équivalence : certains gaz fluorés comme le SF₆ ou le HFC-23 ne sont pas des PFAS. D'autre part, certains PFAS volatils comme les alcools fluorotélomères peuvent se disperser en phase gazeuse dans l'atmosphère alors qu'ils sont liquides en condition normale d'utilisation ne sont pas concernés par le règlement sur les gaz fluorés.

²⁷ UE-27, Royaume-Uni, Islande et Norvège.

²⁸ L'inventaire est complété par les gaz fluorés restant dans les produits en fin de vie : 19 724 t/an. dont la quasi-totalité (98%) tonnes dans les systèmes de réfrigération et de climatisation (98 %).

Le Tableau 24 présente un inventaire synthétique des applications répertoriées dans la base d'information et du nombre de substances PFAS potentiellement associées à chacune.

Tableau 24 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des gaz fluorés (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Gaz fluorés	118
Agents gonflants pour mousses	12
Mousse de polystyrène extrudée (XPS)	2
Mousse de polyuréthane rigide	8
Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées	8
Mousse isolante rigide à cellules fermées PU/PIR	1
Mousse phénolique	4
Mousse rigide de polyuréthane pour tuyaux et blocs	3
Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	5
Peau intégrale en polyuréthane	2
Autres applications	9
Gaz isolant dans l'appareillage électrique	2
Préservation des matériaux culturels à base de papier	2
Refroidissement par immersion de l'électronique	4
Revêtement par plasma de PEHD (polyéthylène haute densité)	2
Gaz de couverture	4
Moulage de magnésium	4
Produits de lutte contre l'incendie	8
Agent de diffusion	4
Agent d'inondation totale	5
Propulseurs	5
Produits de consommation (par exemple, lubrifiant pour chaîne de vélo)	5
Utilisations commerciales et industrielles	2
Réfrigération et pompes à chaleur	76
Applications militaires	1
Climatisation domestique, commerciale et industrielle	25
Climatisation mobile	4
Pompes à chaleur domestiques et commerciales	10
Pompes à chaleur pour sèche-linge	3
Réfrigération commerciale	33
Réfrigération des transports	30
Réfrigération domestique	24
Réfrigération industrielle	35
Refroidissement électronique, partie d'échangeur de chaleur	17
Solvant	35
Liquide de traitement pour l'impression 3D	6
Nettoyage de précision et d'électronique, nettoyage commercial et industriel	33
Solvants et lubrifiants	13

4.4.5.1 Substances employées

Respectant la trame des parties précédentes, le Tableau 25 présente les gaz fluorés les plus mentionnés dans la base d'information²⁹.

²⁹ Dans le cadre d'une mise à jour de ce rapport et de la base d'information, les noms des gaz pourraient être complétés de leurs références habituelles comme fluides réfrigérants. A titre d'exemple, le 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (ou norflurane) est plus connu comme fluide réfrigérant sous le nom R-134a ou HFC-

Tableau 25 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
1,1,1,2-Tetrafluoroethane	811-97-2	14
1,3,3,3-Tetrafluoropropene	29118-24-9	8
Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene	102687-65-0	7
Pentafluoroethane	354-33-6	7
1,1,1,3,3-Pentafluorobutane	406-58-6	7
1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane	431-89-0	7
Methyl perfluoropropyl ether	375-03-1	6
1,1,1,3,3-Pentafluoropropane	460-73-1	6
Cis-1,1,1,4,4,4-Hexafluoro-2-butene	692-49-9	6
Difluoromethane	75-10-5	6
2,3,3,3-Tetrafluoropropene	754-12-1	6

4.4.5.2 Cartographie des usages

Le Tableau 26 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des gaz fluorés en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

134a. Ce gaz présente un potentiel de réchauffement global important, de 1340. Le gaz suivant, 1,3,3,3-Tetrafluoropropene est plus connu sous le nom HFO-1234ze et constitue un substitut du précédent, ayant un potentiel de réchauffement global de 6.

Tableau 26 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des gaz fluorés

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Réfrigération et pompes à chaleur (SU0)	Applications militaires	Fluide de transfert thermique pour refroidir les éléments électroniques (par exemple, les batteries des voitures, les centres de données)	Agent de transfert de chaleur	[1] ; [4] ; [21] ; [25] ; [26] ; [36] ; [59] , [83]
	Climatisation domestique, commerciale et industrielle	Fluide de transfert thermique pour refroidir l'intérieur des bâtiments		
	Climatisation mobile	Fluide de transfert thermique pour refroidir l'intérieur des moyens de transport (voitures, trains, camions)		
	Pompes à chaleur domestiques et commerciales	Fluide de transfert thermique pour augmentation de la température dans un bâtiment		
	Pompes à chaleur pour sèche-linge	Fluide de transfert thermique pour augmentation de la température dans les séchoirs à linge		
	Réfrigération commerciale	Fluide de transfert thermique pour préservation des marchandises à basse température (par exemple, les aliments dans les réfrigérateurs, les congélateurs)		
	Réfrigération des transports	Fluide de transfert thermique pour préservation des marchandises pendant le transport		
	Réfrigération domestique	Fluide de transfert thermique pour préservation des marchandises à basse température (par exemple, les aliments dans les réfrigérateurs, les congélateurs)		
	Réfrigération industrielle	Fluide de transfert thermique pour stockage à des températures extrêmement basses (par exemple -40 Celsius) tout au long de la chaîne d'approvisionnement (par exemple vaccins, fabrication de produits biopharmaceutiques)		
	Refroidissement électronique, partie d'échangeur de chaleur	Fluide de transfert thermique pour refroidir les éléments électroniques (par exemple, les batteries des voitures, les centres de données)		
Agents gonflants pour mousses d'isolation	Mousse de polystyrène extrudée (XPS)	Assurer l'isolation thermique des constructions résidentielles et commerciales	Mousse	[1] ; [25] ; [59] , [83]
	Mousse de polyuréthane rigide	Assurer l'isolation thermique de zones réfrigérées (par exemple pour les réfrigérateurs, les congélateurs, les chambres froides)		
	Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées	Assurer l'isolation thermique des constructions résidentielles et commerciales		
	Mousse isolante rigide à cellules fermées PU/PIR	Empêcher le gel et la fissuration des tuyaux (par exemple, les tuyaux d'eau du district)		
	Mousse phénolique	Isolation thermique, principalement pour les applications industrielles de chauffage et de ventilation		

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Mousse rigide de polyuréthane pour tuyaux et blocs	Empêcher le gel et la fissuration des tuyaux (par exemple, les tuyaux d'eau du district)		
	Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	Assurer l'isolation thermique des structures difficiles d'accès (par exemple, autour des fenêtres et des portes, autour des tuyaux)		
	Peau intégrale en polyuréthane	Isolation thermique des produits de consommation (coussins, matelas, etc.)		
Agents gonflants pour d'autres mousses	Automobile : Mousses pour revêtements protecteurs et amortisseurs (housses de sièges, volants de véhicules...)	Service propre aux PFAS à documenter	Mousse	[1] ; [25] ; [59]
Gaz de couverture	Fonderie de métaux non-ferreux : Production de pièces moulées en magnésium (ou alliages de magnésium)	Empêcher l'oxydation de la surface du métal en fusion pour des raisons de sécurité	Antioxydant	[1]; [59], [83]
Produits de lutte contre l'incendie (hors mousses anti-incendie)	Produits anti-incendie « propres ³⁰ ». Employé dans les systèmes d'extinction automatiques. Fluide de protection incendie pour data centers, les salles de contrôle, les musées, archives	Manque d'informations	Agent extincteur Isolant	[1], [25] ; [36] ; [59], [83]
Propulseurs	Produits de consommation : déodorants, sprays pour les cheveux, lubrifiants en aérosol, dépoussiérants, produits de nettoyage, klaxons de sécurité, dégraissants, peintures...	Expulser le contenu de son récipient	Propulseurs, non-moteur (agents gonflants)	[1] ; [4] ; [25] ; [36] ; [59], [83]
	Utilisations commerciales et industrielles	Expulser le contenu de son récipient	Propulseurs, non-moteur (agents gonflants)	
Solvant	Liquide de traitement pour l'impression 3D	Fluide de transfert thermique pour assurer le contrôle de la température	Agent de transfert de chaleur Solvant	[1], [59], [83]
		Assurer l'élimination du liant avant le frittage dans l'impression 3D des métaux		
	Nettoyage de précision et d'électronique, nettoyage commercial et industriel. Produits dégraissants pour surfaces métalliques ou produits de nettoyage de pièces électroniques	Assurer le contrôle de la température	Agent de transfert de chaleur Solvant	
		Éliminer l'huile, la graisse, les particules et la poussière lors du nettoyage des pièces métalliques industrielles, de l'électronique et lors de divers processus de lubrification		
		Respecter des normes strictes de nettoyage et de sécurité		
	Solvants et lubrifiants	Assurer le contrôle de la température	Agent de transfert de chaleur	
Assurer un revêtement lisse des lubrifiants, des silicones, des adhésifs ou d'autres matériaux		Solvant		
Autres applications	Préservation des matériaux culturels à base de papier	Prévenir la corrosion acide et préserver l'objet sans dégrader l'encre, les matériaux de liaison, la colle ou décolorer le papier	Solvant	[83]

³⁰ Ces produits (ne formant pas de résidus) sont employés pour ne pas endommager les objets se trouvant dans la zone où ils sont utilisés

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Refroidissement par immersion de l'électronique	Réduire le besoin de matériaux d'interface, de dissipateurs thermiques, de ventilateurs ou d'autres méthodes de refroidissement	Agent de transfert de chaleur	
	Revêtement par plasma de PEHD	<i>Informations contradictoires</i>	Manque d'informations	

4.4.5.3 Disponibilité des alternatives

Le dossier de restriction et la base d'information fournissent des informations sur la disponibilité d'alternatives sur le marché. Ceci doit être interprété comme un premier niveau d'information en matière de substitution mais l'analyse réelle des alternatives reste généralement à confronter aux conditions réelles d'application. Le Tableau 27 présente les applications selon une échelle de disponibilité des alternatives établie sur la base des informations non nomenclaturées présentes dans la base [83]. Le Tableau 28 mentionne les alternatives identifiées.

Tableau 27 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS) Mousse de polyuréthane rigide Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées
	Autres applications Gaz de couverture Propulseurs	Mousse rigide de polyuréthane pour tuyaux et blocs Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée Refroidissement par immersion de l'électronique Moulage de magnésium Produits de consommation (par exemple, lubrifiant pour chaîne de vélo) Utilisations commerciales et industrielles
	Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation mobile Pompes à chaleur domestiques et commerciales Réfrigération commerciale Réfrigération domestique Réfrigération industrielle
	Solvant	Nettoyage de précision et d'électronique, nettoyage commercial et industriel Solvants et lubrifiants
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Autres applications	Gaz isolant dans l'appareillage électrique
Alternative au stade recherche et développement	Autres applications	Refroidissement par immersion de l'électronique
	Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation mobile Réfrigération commerciale Réfrigération des transports Réfrigération industrielle
Pas d'alternative identifiée	Agents gonflants pour mousses	Mousse isolante rigide à cellules fermées PU/PIR Mousse phénolique
	Autres applications	Peau intégrale en polyuréthane Préservation des matériaux culturels à base de papier Revêtement par plasma de PEHD
	Produits de lutte contre l'incendie	Agent de diffusion Agent d'inondation totale
	Réfrigération et pompes à chaleur	Applications militaires
	Solvant	Liquide de traitement pour l'impression 3D
Sans information	Gaz de couverture	Moulage de magnésium
	Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation domestique, commerciale et industrielle Climatisation mobile
		Pompes à chaleur domestiques et commerciales Pompes à chaleur pour sèche-linge

Tableau 28 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des gaz fluorés

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	
Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS) Mousse de polyuréthane rigide Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées Mousse rigide de polyuréthane pour tuyaux et blocs Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée	Alternatives disponibles	2-chloropropane Cellulose Chanvre Coton Cyclopentane Dioxyde de carbone Fibre de verre Isobutane Iso-pentane laine de mouton Laine minérale Mousse cimentaire Mousses soufflées à l'eau n-butane n-pentane Paille
Gaz de couverture Produits de lutte contre l'incendie	Moulage de magnésium	Alternative disponible	Argon Flux de sel et soufre en poudre SO2
Propulseurs	Produits de consommation (par exemple, lubrifiant pour chaîne de vélo) Utilisations commerciales et industrielles	Alternatives disponibles	Air Azote Butane Diméthyl éther Dioxyde de carbone Isobutane Oxyde nitreux Produits à poche sur valve Produits non pulvérisés, y compris les roll-ons Propane Vaporisateurs à gâchette, pompes à doigt, flacons à presser

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	
Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation domestique, commerciale et industrielle Climatisation mobile Pompes à chaleur domestiques et commerciales Pompes à chaleur pour sèche-linge Réfrigération commerciale Réfrigération des transports Réfrigération domestique Réfrigération industrielle	Alternatives disponibles ou Alternatives au stade recherche et développement	Azote Dioxyde de carbone Isobutane n-butane Propane Air Refroidissement élastocalorique Réfrigérant NH3 Systèmes alternatifs - Stockage en chambre froide avancée (Pas de réfrigération proprement dite) Systèmes alternatifs - Réfrigération par absorption, réfrigération thermoélectrique, cycle de Stirling et réfrigération magnétique (Pas de cycles de réfrigération proprement dits)
Solvant	Nettoyage de précision et d'électronique, nettoyage commercial et industriel Solvants et lubrifiants	Alternatives disponibles	Alcool isopropylique (IPA) Bromure de n-propyle (nPB) Dichlorométhane (DCM, chlorure de méthylène) Fluides supercritiques - CO₂ Hydrocarbures (acétone) Hydrocarbures (Benzène) Hydrocarbures (Heptane) Hydrocarbures (Hexane) Méthodes de nettoyage manuel - aérosols, brosse, spray à gâchette, immersion dans un liquide, nettoyage ponctuel, lingettes Nettoyage au plasma Nettoyage semi-aqueux / aqueux Perchloroéthylène (PER) Siloxanes méthyliques volatils Trans-1,2-dichloroéthylène Trichloréthylène (TCE) Nettoyage par ultrasons
Autres applications	Refroidissement par immersion de l'électronique	Alternatives disponibles ou Alternatives au stade recherche et développement	Huile minérale Huiles naturelles Huiles synthétiques Isobutane

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives
	Gaz isolant dans l'appareillage électrique	n-butane Propane réfrigérant NH3 Technologie de l'air pur avec de l'air sec (mélange de N2 et O2) et un aspirateur

4.4.5.4 Synthèse bibliographique

Usages

Les gaz fluorés, dont une grande partie sont des PFAS, sont largement employés dans un grand nombre d'applications, dont la principale porte sur les systèmes de réfrigération de climatisation et de chauffage. Le dossier de restriction estime qu'environ 25 000 tonnes de PFAS sont employées chaque année dans de nouveaux systèmes et environ 500 000 tonnes sont actuellement en place dans des systèmes en service. De plus ces usages seraient amenés à croître, le dossier faisant l'hypothèse d'une multiplication par presque 3 des quantités de PFAS utilisées dans ce secteur au cours des 50 prochaines années.

Les réfrigérants à base de PFAS sont couramment utilisés dans les réfrigérateurs, congélateurs, refroidisseurs et unités de climatisation aussi bien domestiques, que dans l'industrie (industrie chimique, pharmaceutique notamment dans la fabrication de vaccins nécessitant des températures contrôlées inférieures à -40 °C, et de transformation des aliments), ou dans les transports (climatisation ou transport de produits réfrigérés et congelés). Un marché émergent concerne l'utilisation des pompes à chaleur pour le chauffage de l'espace et de l'eau, ainsi que pour la production d'eau chaude domestique. Il existe par ailleurs des applications spécialisées comme le refroidissement de grands centres de données, pour les serveurs, l'électronique et certains processus industriels.

Les gaz fluorés sont employés dans la production de mousses qui sont ensuite utilisées dans les environnements domestiques, commerciaux et industriels pour fournir une isolation thermique (intérieurs des bâtiments, des chaudières, isolations des tuyaux), pour combler les espaces dans les bâtiments, ou à des fins de rembourrage, comme pour les housses de siège ou les volants de véhicules.

Les gaz fluorés sont également utilisés comme solvants (parfois appelés fluides fonctionnels) pour le nettoyage industriel des métaux, dans l'électronique ou le nettoyage et la lubrification de précision.

Ils sont employés comme gaz propulseurs dans des applications courantes comme les déodorants et les laques, ou dans des applications industrielles (peintures, souffleurs de poussière, etc.) ou médicales (inhalateurs-doseurs).

Dans l'industrie, ils ont des applications comme gaz de protection (ou gaz de couverture) fournissant une protection contre l'oxydation rapide de métaux en fusion.

Les gaz fluorés sont utilisés à des fins de protection contre les incendies, où ils occupent un marché de niche, lorsqu'il est nécessaire de protéger des objets qui pourraient être endommagés par un agent extincteur classique et dans des espaces confinés.

Enfin, une grande variété d'usages minoritaires est également documentée : gaz d'isolation dans les équipements électriques, utilisation dans les processus de gravure et de nettoyage des circuits intégrés et semi-conducteurs, gaz de conservation des matériaux culturels à base de papier, etc.

Alternatives

Concernant les alternatives aux PFAS dans toutes ces applications, deux diagnostics coexistent : d'une manière générale les alternatives sans fluor sont disponibles pour pratiquement toutes les applications ; mais la pertinence de ces alternatives est également parfois mise en doute en raison de contraintes spécifiques comme la nécessité de disposer de gaz non inflammables (alternatives hydrocarbures), non toxiques (ammoniac) ou de limiter des pressions élevées (CO₂). Cependant, le dossier de restriction conclut que dans de nombreux cas, les problèmes techniques et de sécurité peuvent être résolus dans la conception de l'équipement. Les paragraphes suivants présentent une synthèse des conclusions principales du dossier.

En préambule, il est intéressant de noter qu'en vertu du Protocole de Montréal, la disponibilité des alternatives aux gaz fluorés dans diverses applications est régulièrement étudiée. Ces travaux ont été pris en compte dans l'élaboration du dossier de restriction, notamment

concernant la réfrigération, la climatisation et les pompes à chaleur, mais également les mousses, et les agents d'extinction de feux. Toutefois, dans ce cadre, les alternatives sont principalement évaluées en fonction de leur potentiel de réchauffement climatique et de l'impact sur la couche d'ozone des alternatives. Il peut en résulter des conclusions contradictoires par rapport à la substitution des PFAS dont certains ont des potentiels de réchauffement global faibles mais peuvent se dégrader en gaz persistants dans l'atmosphère, notamment en TFA.

Dans le domaine de la réfrigération, il existe des alternatives viables sur le marché (quand elles ne sont pas déjà la norme), ce qui rend la transition vers ces alternatives réalisable rapidement. Les alternatives utilisées sont généralement des réfrigérants naturels comme le dioxyde de carbone, l'ammoniac et certains hydrocarbures. L'isobutane (R-600a) est par exemple le principal réfrigérant utilisé dans la réfrigération domestique en Europe et environ 50 % de la réfrigération commerciale utilise le propane (R-290), dont l'utilisation est en augmentation. Dans les systèmes industriels, le CO₂, l'ammoniac, ou des solutions associant ces deux réfrigérants sont possibles et constituent des options fréquemment utilisées.

Il existe des applications pour lesquelles les alternatives ne sont pas immédiatement disponibles comme la réfrigération à basse ou très basse température (en dessous de -50 °C), ou des équipements de test et de mesure en laboratoire. D'une manière générale, les gaz fluorés conservent un rôle essentiel dans des applications spécialisées et à haute précision.

Toutefois, même lorsqu'elle est possible techniquement, la substitution des PFAS peut poser des problèmes importants de deux ordres :

- Dans certains pays comme l'Italie, la réglementation interdit l'utilisation de réfrigérants inflammables dans les bâtiments publics. Il existe donc dans ce cas un obstacle important à la substitution des PFAS³¹.
- De plus, il n'est généralement pas possible de convertir les systèmes en place comme les pompes à chaleur à de nouveaux réfrigérants sans les remplacer totalement. Leur mise hors service prématurée engagerait des coûts économiques et des impacts environnementaux importants³².

Dans le domaine des mousses, l'usage des gaz fluorés est généralement en recul du fait de prix plus élevés que les alternatives et de la pression réglementaire déjà en place (règlement F-gaz). Les alternatives à base d'hydrocarbures (pentane, isobutane, cyclopentane) ou de CO₂ sont déjà largement utilisées, offrant de bonnes propriétés d'isolation thermique et de vieillissement pour un faible coût et avec une disponibilité mondiale.

Compte tenu, à l'inverse, de leur coût élevé, les gaz fluorés semblent être privilégiés ou nécessaires seulement lorsque des contraintes techniques imposent leur usage : nécessité d'obtenir de très bonnes performances techniques dans des espaces restreints, ou de limiter l'inflammabilité. En l'état actuel du dossier de restriction, la substitution généralisée des gaz fluorés ne semble pas tout à fait réalisable, mais des précisions sont attendues pour envisager une période de dérogation.

Les alternatives sans PFAS sont disponibles pour de nombreuses applications dans le domaine des solvants fluorés. Néanmoins, la substitution reste à mener pour certains usages spécifiques comme le nettoyage de précision, les fluides de nettoyage pour des environnements riches en oxygène et certaines applications professionnelles et industrielles de l'impression 3D (agents de lissage pour les polymères). En l'état actuel du dossier de restriction aucune dérogation n'est proposée dans ce domaine, mais la nécessité d'une analyse au cas par cas plus approfondie est reconnue car une interdiction sans délais pourrait avoir un impact négatif sur certaines filières innovantes.

³¹ Cet enjeu d'inflammabilité des réfrigérants non PFAS se pose bien sûr dans d'autres secteurs. Dans le transport maritime par exemple, le CO₂ et l'ammoniac sont utilisés.

³² Sans compter les ressources en main d'œuvre nécessaire pour une conversion à large échelle de ces systèmes.

Le même type de conclusion se présente en ce qui concerne les applications des gaz fluorés comme gaz propulseurs. Les alternatives sans PFAS sont généralement disponibles, mais peuvent présenter des inconvénients qui leur sont propres : les oxydes nitreux utilisés dans certaines applications alimentaires peuvent voir leur usage détourné comme drogues récréatives, les hydrocarbures liquéfiés sont inflammables, les pulvérisateurs à gâchette (sans gaz) ont une qualité de pulvérisation inférieure, etc. Aucune solution systématique ne semble donc convenir et une approche sur mesure est nécessaire pour répondre aux exigences variées des applications.

Pour ce qui concerne les applications comme gaz de couverture, le dioxyde de soufre est déjà utilisé depuis longtemps dans l'industrie de la fonderie, son usage impliquant des mesures de gestion des risques (toxicité, corrosivité) appropriées.

Dans le domaine de la protection contre l'incendie, et en dépit d'efforts de recherche récents, les techniques d'extinction qualifiées de « propres » parce qu'elles ne présentent pas de risques pour les personnes potentiellement exposées (milieux confinés) ou n'endommagent pas les biens – souvent culturels – à protéger sont à ce jour et dans un avenir proche sans alternative.

Concernant les gaz employés comme isolants dans les appareillages de commutation haute tension, la substitution des PFAS est effective pour les courants < 145kV mais envisageable seulement à horizon de quelques années pour les courants plus importants. C'est pourquoi une dérogation spécifique de 5 ans est proposée.

4.4.6 Les emballages et matériaux en contact avec les produits alimentaires

Les PFAS sont utilisés pour conférer une résistance à l'humidité, à l'huile et à la graisse aux emballages ainsi qu'aux matériaux en contact avec les produits alimentaires. Ces matériaux comprennent des ustensiles de cuisine et peuvent également concerner des applications industrielles de l'industrie agro-alimentaire, comme les tapis de transport de denrées alimentaires, les moules ou plateaux de cuisson, ou certaines vannes et raccords. Dans le domaine des emballages (y compris non alimentaires), les PFAS peuvent être employés comme fluoropolymères appliqués en surface ou comme auxiliaires de traitement d'emballages en plastique. D'autres applications sont répertoriées, comme l'usage de PFAS dans les encres et laques appliquées sur les emballages en carton et canettes en aluminium.

Selon le dossier de restriction, de 19 000 à 30 000 tonnes de PFAS sont employées pour ces applications par an en Europe (chiffres arrondis), dont 70 à 80% sont des fluoropolymères (principalement PTFE et PVDF). Parmi ces fluoropolymères quatre types d'usages semblent se partager équitablement les tonnages, autour de 5 000 tonnes chacun : les ustensiles de cuisine, la production industrielle agroalimentaire, les revêtements de canettes et une application non mentionnée à ce stade, les emballages de voitures.

4.4.6.1 Substances employées

Le Tableau 29 fait état du nombre de substances PFAS employées dans les différentes applications et le Tableau 30 celles associées au plus grand nombre d'application. Cette information, issue de la base d'information jointe à ce rapport, ne doit pas être confondue avec les volumes pour lesquels peu d'informations sont disponibles.

Tableau 29 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans les matériaux en contact avec les produits alimentaires (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Matériaux contact alimentaire	223
Emballages	201
Emballages non alimentaires	38
Emballages pour l'alimentation humaine et animale	176
Ustensiles de cuisine	39
Articles de cuisine grand public	21
Équipement de production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux	26

Tableau 30 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Fluorocarbon cured elastomer...	116-14-3	15
Tetrafluoroethylene-hexafluoropropylene-vinylidene...	25190-89-0	5
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	4
2,3,3,3-tetrafluoro-2-heptafluoropropoxy...	13252-13-6	3
2,3,3,4,4,5,5-Heptafluoro-1- pentene	1547-26-8	3
A copolymer of TFE and perfluoromethylvinyl ether (PFMVE)...	26425-79-6	3
Perfluoro-1,2-dimethylcycloalkane	306-98-9	3
Perfluorooctanoic acid, ammonium salt	3825-26-1	3

4.4.6.2 Cartographie des usages

Le Tableau 31 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans les matériaux en contact avec les produits alimentaires en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 31 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans les matériaux en contact avec les produits alimentaires

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Emballages (SU6b, SU4, SU12, SU15)	Emballages non alimentaires Papier et carton pour applications non alimentaires (cartons d'emballage pliants, formulaires autocopiants/papier sensible à la pression, papier de masquage, papier peint...) Récipients enduits en plastique, verre, métal (par exemple pour contenir des produits chimiques) Auxiliaires technologiques pour la production de films d'emballage en plastique (santé/hygiène, automobile)	Prévenir la perte de produit Prévenir les fuites	Agent imperméabilisant Agent antiadhésif	[2] ; [12] ; [36] ; [55] [83]
	Emballages pour l'alimentation humaine et animale : Emballages alimentaires en papier ou carton (produits surgelés, beurre, tablettes de chocolat...) Emballages alimentaires en papier ou carton pour produits « à emporter » (boissons, frites, glaces, pizzas, popcorn, pâtisseries...) Vaisselle jetable en papier ou carton (assiettes, gobelets, bols...) Autres emballages alimentaires (contenants de lait, films étirables et rétractables...) Papier de cuisson Revêtement de boîtes de conserve (aliments et boissons) Emballages en papier ou carton pour aliments pour animaux domestiques ou agricoles	Empêcher la migration des graisses et de l'eau Maintenir la qualité Prévenir la perte de produit Prévenir les fuites	Agent imperméabilisant Agent antiadhésif	[1] ; [2] ; [4] ; [6] ; [10] ; [12] ; [13] ; [15] ; [16] ; [17] ; [21] ; [22] ; [25] ; [27] ; [28] ; [29] ; [36] ; [55] ; [61] ; [66] ; [67] ; [68] ; [70] ; [74] ; [76] ; [81], [83]
Equipements industriels de production alimentaire et Ustensiles de cuisine (SU15, SU4)	Équipements industriels de production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux : Bandes transporteuses Ustensiles industriels de cuisine (moules, plateaux, rouleaux, couteaux, ciseaux, entonnoirs...) Tissu de verre enduit (aide au démoulage) Diverses pièces et accessoires industriels (joints, tuyaux, tubes, filtres, vannes, ressorts...)	Améliorer la durabilité Améliorer la productivité Améliorer les conditions d'hygiène (protection microbiologique)	Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [4] ; [25] ; [36]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Ustensiles de cuisine grand public : Poêles à frire, casseroles Articles de pâtisserie (plaques, moules à gâteaux, moules à pain...) Plaques de cuisson dans des appareils électriques (grille-pain, gaufriers...) Vaisselle jetable en papier ou carton (assiettes, gobelets, bols...)	Améliorer la durabilité Empêcher les aliments de coller Faciliter le nettoyage	Inhibiteur de corrosion Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Stabilisateur thermique	[1] ; [2] ; [18] ; [19] ; [25] ; [29] ; [33] ; [36] ; [55] ; [56] ; [74] , [83]

4.4.6.3 Disponibilité des alternatives

Le dossier de restriction et la base d'information fournissent des informations sur la disponibilité d'alternatives sur le marché. Ceci doit être interprété comme un premier niveau d'information en matière de substitution mais l'analyse réelle des alternatives reste généralement à confronter aux conditions réelles d'application. Le Tableau 32 présente les applications selon une échelle de disponibilité des alternatives établie sur la base des informations non nomenclaturées présentes dans la base [83]. Le Tableau 33 mentionne les alternatives identifiées.

Tableau 32 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Emballages Ustensiles de cuisine	Emballages pour l'alimentation humaine et animale Articles de cuisine grand public Équipement de production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux
Alternative au stade recherche et développement	Ustensiles de cuisine	Articles de cuisine grand public
Manque d'informations	Emballages	Emballages non alimentaires

Tableau 33 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des emballages et des matériaux en contact avec les produits alimentaires

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Emballages	Emballages non alimentaires	Incertain	Cellulose microfibrillaire (MFC), nanofibrilles de cellulose (CNF), nanocristaux de cellulose (CNC) Laminage à l'aide de barrières imperméables Revêtement bitumineux Matériaux réutilisables Autres fibres végétales Polyéthylène Chlorure de polyvinylidène Papier sulfurisé naturel Parchemin de légumes Papier non couché Argile de kaolin Revêtements d'argile Silicones Siloxanes (par analogie avec le polydiméthylsiloxane à terminaison vinylique) Biopolymères (p. ex. chitosane, amidon, cellulose, alcool polyvinylique, bioplastiques tels que l'acide polylactique (PLA), biocires) Cires (pétrolières ou biosourcées) Polyéthylène téréphtalate (PET) Alcool polyvinylique (PVOH) Alcool éthylène-vinylique (EVOH) Polyacrylate Plastiques non-fluorés à usage unique Produits en polystyrène Acide polylactique (PLA) (par analogie avec le monomère lactide [n° CAS 4511-42-6 ; 615-95-2]) Cellulose microfibrillaire (MFC), nanofibrilles de cellulose (CNF), nanocristaux de cellulose (CNC) Dispersions aqueuses de copolymères (par exemple, émulsion acrylique de styrène) Hydroxyéthylcellulose soluble dans l'eau (HEC) Anhydride alkylsuccinique (AAS) Dimère d'alkylcétène (AKD) Aluminium Dispersions aqueuses de cires (par exemple TopScreen) Plateau d'emballage alimentaire sans PFC Papiers FluoroFree Emballage sans PFC pour le pop-corn au micro-ondes Assiettes en papier non couché sans PFAS Kuraray Poval™ et Exceval™ sans PFAS
	Emballages pour l'alimentation humaine et animale	Alternative disponible/Incertain	

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Paraflex Nowax Contour - Technologie résistante à l'huile et à la graisse sans PFAS Revêtements barrière en papier sans PFAS Revêtements barrières hydrofuges TopScreen™ Revêtements barrières résistants à l'huile et à la graisse TopScreen™ Technologies PROTÉAN® Contenants alimentaires sans PFAS ConFlex Repel Pure – un dégraissant naturel Revêtements de papier Ulterion® La ligne Vanguard - Emballages alimentaires sans PFAS VerdeCoat® - Revêtements d'emballage alimentaire Alternative sans PFAS : Enshield® Revêtements barrières Cartaseal®
Ustensiles de cuisine	Articles de cuisine grand public	Alternative disponible/Alternative au stade recherche et développement	Revêtements céramiques Ustensiles de cuisine en silicone Revêtements superhydrophobes Revêtement en aluminium anodisé Fonte émaillée Fonte assaisonnée Acier au carbone Cuivre
	Équipement de production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux	Alternative disponible	Revêtements en silicone Inox Caoutchoucs synthétiques et composés similaires (caoutchouc nitrile) Caoutchoucs synthétiques et composés similaires (caoutchouc éthylène-propylène) Caoutchoucs synthétiques et composés similaires (néoprène) Caoutchoucs synthétiques et composés similaires (PES (polyéthersulfone))

4.4.6.4 Synthèse

Emballages en papier et carton

Les PFAS sont souvent utilisés dans les emballages en papier et en carton pour repousser l'humidité, l'huile et la graisse, empêcher le produit de coller à l'emballage et constituer une barrière contre l'humidité et les fuites. Il existe des alternatives techniquement et économiquement réalisables, telles que le papier non couché, les cires, le kaolin, les biopolymères et les plastiques synthétiques. Le principal défi de l'utilisation de ces alternatives est leur coût, qui peut être plus élevé que celui des emballages contenant des PFAS.

Auxiliaires dans les emballages en plastique

Différents types de PFAS tels que les fluorotélomères, les perfluoropolyéthers et les fluoropolymères sont employés dans les emballages en plastique. Ces produits sont utilisés pour améliorer les propriétés du film plastique, et rendre le film hydrophobe, durable et lisse. Des alternatives potentielles aux PFAS dans ce domaine sont le nitrure de bore et les cires de PE, mais ils confèrent aux plastiques de moins bonnes performances que les PFAS, et ils diminuent leur cadence de production. Pour certaines applications, comme les emballages alimentaires, il peut être actuellement nécessaire d'utiliser des auxiliaires à base de PFAS en raison de normes de qualité. Cependant, pour d'autres applications moins critiques, il est possible que des alternatives soient acceptables.

Conteneurs en F-HDPE (Polyéthylène Haute Densité Fluoré)

Le F-HDPE (Polyéthylène Haute Densité Fluoré), une version plus robuste du PEHD, est utilisé dans les contenants destinés au transport de produits chimiques dangereux. Il existe plusieurs alternatives connues, telles que la co-extrusion HDPE-PA/EVOH.

Autres utilisations dans des emballages

Concernant l'emballage temporaire des voitures, pour lequel des polymères fluorés sont employés, d'autres matériaux non fluorés tels que le PE, le PVC, le PET et le PUR sont également utilisés.

Dans le cas du revêtement extérieur en PTFE des canettes de boisson pour réduire les frottements sur les lignes de production, l'existence d'alternatives chimiques ne semble pas établie.

Surfaces antiadhésives dans les ustensiles de cuisine et les appareils ménagers grand public

Il existe de nombreuses alternatives aux revêtements antiadhésifs à base de fluoropolymères dans les ustensiles de cuisine et les appareils électroménagers grand public. Ces alternatives ont déjà une part de marché considérable. La vaste gamme d'ustensiles de cuisine grand public sans propriétés antiadhésives peut aussi être une solution de remplacement dans de nombreux cas. Les différentes solutions de remplacement sont notamment le PEEK, les revêtements céramiques, l'acier inoxydable, l'aluminium anodisé et la fonte. Ces alternatives sont probablement possibles également dans la plupart des cas pour une utilisation professionnelle dans les restaurants et les établissements de restauration.

Revêtements anti-adhérents utilisés dans l'industrie agroalimentaire

L'information disponible sur les performances des alternatives n'est pas complète au regard de la diversité et de l'exigence des conditions d'exploitation, telles que les températures élevées, les pressions, l'utilisation d'agents de nettoyage puissants et le débit élevé de chaînes de production. Certaines entreprises proposent des revêtements fluorés et non fluorés selon ces différents paramètres. Les alternatives potentielles identifiées comprennent la céramique, le PEEK, les revêtements en silicone, l'acier inoxydable et les ustensiles de cuisson en silicone.

Les polymères fluorés sont plus chers que les alternatives, mais sont utilisés lorsque ces dernières sont considérées comme moins performantes. Globalement des alternatives sont disponibles, mais dans certains cas elles pourraient nécessiter des adaptations des techniques ou des conditions de production.

4.4.7 Les lubrifiants³³

Les PFAS sont largement utilisés dans les lubrifiants en raison de leurs nombreuses propriétés physico-chimiques. Ils ont comme fonction soit d'assurer la lubrification, ou d'apporter des fonctions auxiliaires au produit lubrifiant (stabilité thermique, inhibition de la corrosion, par exemple). Le dossier de restriction présente une estimation de la consommation annuelle de PFAS pour ces usages en Europe comprise entre 1 200 et 2 200 tonnes, tout en avertissant d'une probable sous-estimation notamment en raison de l'absence de données sur les importations nettes d'articles et de mélanges contenant des PFAS.

Environ un tiers de cette consommation (entre 300 et 800 tonnes) correspond à des usages dans des huiles de base et graisses (Perfluoropolyéthers - PFPE), tandis que les deux tiers restants (entre 800 et 1 200 tonnes) concernent les additifs sous forme de micro-poudres (PTFE). Des applications résiduelles comme solvants sont également identifiées.

4.4.7.1 Substances employées

Les PFAS employés dans les lubrifiants comportent essentiellement des fluoropolymères comme le PTFE employé en micro-poudre comme additif dans les lubrifiants, les PFPE (perfluoroalkyléther) et PCTFE (Polychlorotrifluoroéthylène) comme huiles de base, ou encore les huiles polyfluorosiloxane/fluorosilicone (huiles de base ou additifs).

Des PFAS non-polymères tels que des alcools fluorés ou partiellement fluorés sont également utilisés pour des applications spécifiques, comme dispersants, les agents de mouillage, etc.

Comme dans les sections précédentes, le Tableau 34 indique le nombre de substances PFAS répertoriées dans la base d'information et associées à chaque usage. Les applications ne sont pas présentées en détail, les résultats étant généralement les mêmes pour chacune : en effet, les mêmes substances sont employées dans l'automobile, l'aéronautique, etc. pour un sous-usage donné. Le Tableau 35 indique les substances apparaissant le plus dans la base d'information pour application dans le secteur des lubrifiants.

³³ Les lubrifiants sont présentés comme un secteur d'usage pour rester cohérent par rapport à l'approche développée dans le dossier de restriction et car cela permet de rentrer en détail dans certaines problématiques de substitution. Il faut noter toutefois que cela conduit à certaines redites, les lubrifiants pouvant être par ailleurs présentés comme une application des PFAS dans certains secteurs comme les transports.

Tableau 34 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des lubrifiants (source : [83])

Secteur/Sous-usage	Nombre de substances PFAS associées
Lubrifiants	34
Additifs pour lubrifiants*	18
Toutes applications incluses dans ce secteur	18
Huile de base/graisse	8
Produits de consommation (par exemple, instruments de musique)	2
Toutes autres applications incluses dans ce secteur	6
Solvant porteur³⁴ (dans lubrifiants en dispersion)	11
Solvants porteurs	11

Tableau 35 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Siloxanes and Silicones, Me 3,3,3-trifluoropropyl	63148-56-1	40
Polychlorotrifluoroethylene (PTFE)	9002-83-9	40
Oxetane, 2,2,3,3-tetrafluoro-...	113114-19-5	23
Poly[oxy(trifluoro(trifluoromethyl)-1,2-ethanediyl)]...	60164-51-4	23
Ethene, 1,1,2,2-tetrafluoro-, oxidized	69991-61-3	23
1-Propene, 1,1,2,3,3,3-hexafluoro-, oxidized	69991-67-9	23
Polytetrafluoroethylene	9002-84-0	18
1-Propene, 1,1,2,3,3,3-hexafluoro-...	161075-14-5	17
Poly[oxy(trifluoro(trifluoromethyl)-1,2-ethanediyl)]...	2247153-51-9	17
Propylene tetrafluoroethylene copolymer	27029-05-6	17
1-Propene, 1,1,2,3,3,3-hexafluoro-...	370097-12-4	17
Poly[oxy(trifluoro(trifluoromethyl)-1,2-ethane diyl)]...	51798-33-5	17
Poly[oxy(trifluoro(trifluoromethyl)-1,2-ethanediyl)]...	52700-35-3	17
6:2 Fluorotelomer alcohol	647-42-7	17
Poly(difluoromethylene)...	65530-85-0	17
C ycloalkanesulfonic acid, perfluoro(pentafluoroethyl)...	67584-42-3	17
8:2 Fluorotelomer alcohol	678-39-7	17
Poly(difluoromethylene)...	79070-11-4	17
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	17
3,5,7,10,13-Pentaoxapentadecanedioic acid...	88707-87-3	17
Ethanesulfonic acid, 1,1,2,2-tetrafluoro...	88707-88-4	17
Phosphine, tris[4-[4,4,6,7,7,9,10,10,12,13,13,...	88750-33-8	17

³⁴ Un solvant porteur est un liquide utilisé pour dissoudre, diluer ou transporter une substance active (comme un polymère, un pigment, un additif, un principe actif, etc.) afin de faciliter son application ou sa dispersion sur une surface ou dans un processus. Il ne réagit pas chimiquement avec la substance transportée mais sert de "véhicule" de transport et s'évapore une fois la substance en place.

4.4.7.2 *Cartographie des usages*

Le Tableau 36 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS pour les lubrifiants en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 36 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des lubrifiants

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Appareils d'audition (SU0)	Applications pour la perte d'audition Pompes à vide et roulements pendant la production	Lubrifiants <i>Incertain</i> : Il convient de noter qu'il n'est pas certain que les PFAS utilisés comme lubrifiants jouent également un rôle dans les produits finaux	Manque d'informations	[1] ; [9] ; [25] ; [26] ; [27] ; [29] ; [36] ; [55] , [83]
Automobile (SU17)	Moteurs à combustion	Lubrifiants « hautes températures »	Agent lubrifiant	
	Divers dispositifs mécaniques, y compris les composants du système de freinage automobile	Lubrifiants stables chimiquement, compatibles avec les joints, permettant une réduction du bruit	Stabilisateur thermique Agent antiadhésif	
	Roulements et capteurs d'accélérateur	Lubrifiants résistant à la température, avec des propriétés anti-adhérentes	Agent imperméabilisant	
	Systèmes ESP dans les voitures pour mesurer la vitesse de rotation des roues et autres applications	Lubrifiants résistant à la température et aux produits chimiques, avec des propriétés d'hydrofugation destinés à réguler la viscosité	Inhibiteur de corrosion Contrôleur de viscosité	
	Composants électriques et auxiliaires automobiles	Lubrifiants résistant aux températures et aux arcs électriques, stables chimiquement, avec une faible pression de vapeur/faible dégagement gazeux		
	Mécanismes de coulissement des portes et fenêtres	Lubrifiant résistant aux températures élevées		
	Agents de démoulage, aides à l'assemblage, graisse pour diverses pièces : capteurs d'accélérateur, roulements, pièces mobiles, rails du siège, charnières de porte, interrupteurs...	Lubrifiants antiadhésifs, stables chimiquement, aptes au glissement, résistant aux températures élevées, avec des propriétés d'hydrofugation		
	Intérieur automobile	Lubrifiants destinés à réduire les bruits, les grincements ou les vibrations lorsque différents matériaux entrent en contact		
	Moteurs d'essuie-glace, actionneurs de vannes électroniques, joints toriques dans les connecteurs de carburant (moteurs à combustion), arbres et joints de collecteurs d'admission, soupapes de recirculation des gaz d'échappement (EGR), embrayages à inertie, roulements d'alternateurs et pompes à eau	Lubrifiants résistant aux températures élevées, aux produits chimiques et compatibles avec les matériaux		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Aéronefs civils/militaires et aérospatiale (SU17)	Moteurs à combustion	Lubrifiants « hautes températures »	Agent lubrifiant	
	Systèmes hydrauliques, y compris valves de contrôle	Lubrifiants anti-érosion, résistant à la température et stables chimiquement	Inhibiteur de corrosion	
	Roulements	Lubrifiants chimiquement inertes avec stabilité thermo-oxydante, faible pression de vapeur, faible inflammabilité	Stabilisateur thermique	
	Actionneurs de moteurs à réaction et de trains d'atterrissage	Lubrifiants résistant à la température, à l'usure, chimiquement inerte, stables à haute pression, purge d'huile minimale	Retardateur de flammes	
	Arbres cannelés de démarreur de moteur, cannelures de pompes hydrauliques et cannelures de pompes à carburant dans les moteurs d'avion	Lubrifiants « hautes températures » et faible volatilité		
	Liquides de frein et hydrauliques	Lubrifiants « hautes températures »		
	Roulements, engrenages et vis à billes dans les actionneurs électromécaniques	Lubrifiants (graisses) à large fenêtre de fonctionnement (-70 à 180°C), faible couple de démarrage et avec des propriétés anti-fretting		
	Raccords, vannes, régulateurs et joints dans les systèmes d'oxygène dans les applications spatiales et aéronautiques	Lubrifiants inertes chimiquement (en contact avec des liquides et des gaz réactifs, corrosifs ou explosifs (compatibilité avec l'oxygène et stabilité à long terme))		
	Pièces mobiles des combinaisons pressurisées des astronautes	Lubrifiants ininflammables		
	Supports des réseaux d'antennes sur les antennes de l'engin spatial	Lubrifiants minimisant l'usure et ne migrant pas vers d'autres parties du système		
	Paliers permettant l'extension des bras de palettes supportant les cellules solaires sur les satellites	Lubrifiants minimisant l'usure et ne migrant pas vers d'autres parties du système		
	Fil de guidage des potentiomètres dans le système de navigation de l'engin spatial	Lubrifiants minimisant l'usure et ne migrant pas vers d'autres parties du système		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Joints toriques dans les vaisseaux spatiaux	Lubrifiants inertes chimiquement (en contact avec des liquides et des gaz réactifs, corrosifs ou explosifs (inertie aux carburants et aux oxydants))		
	Fluides de flottaison dans les gyroscopes des avions et des missiles	Lubrifiant pour amortissement/réduction des pertes par frottement		
	Huile hydraulique et fluides caloporteurs pour avions	Lubrifiants ininflammables et résistant aux hautes températures		
	Système d'alimentation en oxygène des réservoirs d'oxydation de l'engin spatial	Lubrifiants inertes chimiquement (en contact avec des liquides et des gaz réactifs, corrosifs ou explosifs)		
	Systèmes respiratoires dans les avions et les sous-marins	Lubrifiants avec faible dégazage, inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		
	Diverses fonctions de lubrification militaire (par exemple, aéronefs et électronique)	A documenter		
Secteur nucléaire (SU23)	Roulements dans les pompes	Lubrifiants résistant à la dégradation causée par les radiations, absence de dépôts et de formation de gomme	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Retardateur de flamme	
	Verrerie de laboratoire (évite le blocage)	Lubrifiants résistant aux températures élevées et aux produits chimiques		
	Traitement de l'hexafluorure d'uranium	Lubrifiants résistant aux dégradations causées par les radiations		
	Roulements et autres pièces mobiles	Lubrifiants		
	Roulements critiques, manipulateurs de déchets nucléaires, équipements de fabricants de combustibles, équipements de compactage...			
	Assemblages en acier inoxydable			
	Commandes pour les applications nucléaires			
Horlogerie	Lubrification des mécanismes d'horlogerie	Lubrifiants avec une très grande stabilité, un point d'écoulement extrêmement bas, une excellente	Agent lubrifiant	

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		démixtion de l'eau, une tension de surface extrêmement basse, etc	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Retardateur de flamme	
Électronique et semi-conducteurs	Disjoncteurs électriques	Lubrifiants avec résistance à la température, stabilité chimique, résistance à l'arc, faible pression de vapeur pression de vapeur/peu de dégazage	Inhibiteur de corrosion Isolant Stabilisateur thermique	
	Fabrication de semi-conducteurs : Utilisations multiples mettant en jeu des roulements, tels que les mécanismes de manipulation des plaquettes, l'utilisation de graisses lubrifiantes à faible volatilité utilisées pour lubrifier et étanchéifier les joints d'équipements mis sous vide (graisse à vide), les montages de guidage linéaire, les actionneurs de miroirs...	Assurer une lubrification à vie		
	Pompes à vide exposées à un environnement agressif	Fluide de fonctionnement et joints		
	Ventilateurs de désenfumage d'urgence, par exemple dans les tunnels	Lubrifiants avec résistance à la température (les ventilateurs doivent fonctionner à 400°C pendant 2 heures)		
	Contacts glissants dans les interrupteurs électriques et les boutons-poussoirs	Lubrifiants non-oxydables, ininflammables		
	Lecteurs de disque à pignon et crémaillère	Lubrifiants avec résistance à la température		
	Roulements de broches et d'actionneurs dans les lecteurs de disques	Lubrifiants avec résistance à la température		
	Lecteurs de disques d'ordinateur	Lubrifiants de couche supérieure		
	Pompes à vide destinées aux équipements de fabrication de semi-conducteurs	Lubrifiants (huile) avec résistance à la température et faible dégazage		
	Pompe à vide pour les équipements utilisés pour la désimperméabilisation par plasma des cartes de circuits imprimés multicouches	Lubrifiants (huile) avec résistance à la température et faible dégazage		
	Equipement de traitement des semi-conducteurs	Lubrifiants inertes (graisses)		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Pompe à vide pour les équipements utilisés pour le nettoyage par plasma des appareils électroniques et médicaux	Lubrifiants (huile) avec résistance à la température et faible dégazage		
	Instruments lorsque des agents oxydants puissants empêchent l'utilisation de fluides de remplissage à base de glycérine ou d'huile de silicone, par exemple les joints de membrane, les manomètres, les testeurs de poids mort et les capteurs	Fluides de remplissage Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		
Énergies renouvelables	Énergie éolienne – lubrification des vis, écrous, ancrages magnétiques, boulons, etc.	Lubrifiants avec très bonne résistance à l'usure et très bonnes propriétés tribologiques Faciliter le montage	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	
	Énergie éolienne – Roulements	Lubrifiants résistant aux températures élevées et aux produits chimiques		
	Technologie des piles à combustible – aide à l'assemblage, par exemple graisse pour joints toriques	Lubrifiants avec excellentes propriétés tribologiques, très bonnes propriétés de frottement, élimination du bruit, assemblage facile		
	Stockage de l'énergie et conversion de l'énergie par l'intermédiaire de l'hydrogène	Lubrifiants résistant aux températures élevées avec faible dégazage		
Équipement d'aide aux personnes handicapées (SU20)	Prothèses, orthèses, fauteuils roulants, exosquelettes, etc.	Lubrifiants avec résistance à la température, résistance chimique, antiadhésifs, ininflammables, réduction du bruit	Retardateur de flammes Agent antiadhésif Inhibiteur de corrosion Isolant Stabilisateur thermique	
	Applications comportant des pistons et roues dentées			
	Composants en plastique			
Équipement de plongée	Équipement de plongée en contact avec l'O ₂	Lubrifiants ne réagissant pas avec l'oxygène (réduit ou prévient les risques d'incendie, d'auto-inflammation et d'explosion par rapport à d'autres types de lubrifiants)	Agent lubrifiant Inhibiteur d'explosion	
	Vannes, raccords, joints toriques, manomètres dans des environnements enrichis en oxygène	Lubrifiants		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Matériel de plongée Systèmes de maintien en vie nécessitant une atmosphère enrichie en oxygène (>23% O2) ou de l'air à haute pression	Lubrifiants		
Équipements hospitaliers (SU20)	Vannes, raccords, joints toriques, manomètres dans les environnements enrichis en oxygène (ventilateurs)	Lubrifiants avec pression de vapeur très faible et stabilité et fonctionnalité à long terme	Agent lubrifiant	
	Dispositif d'injection médicale (Seringues, pompes, stylos)	Lubrifiants		
	Systèmes/unités d'oxygène hospitaliers (et domestiques). Chambres à oxygène hyperbares. Appareils d'anesthésie. Systèmes à protoxyde d'azote. Systèmes de maintien en vie nécessitant une atmosphère enrichie en oxygène (>23% O2) ou de l'air à haute pression	Lubrifiants		
Fournitures, équipements et instruments de laboratoire (SU24)	Diagnostic et équipement optique : Lubrification de pièces mobiles, par exemple des roulements à billes dans diverses applications où les pièces doivent être déplacées sans frottement	Lubrifiants avec faible dégagement gazeux	Agent lubrifiant	
	Roulements et pivots dans de nombreux types d'instruments	Lubrifiants		
	Instruments optiques et boîtiers d'éclairage où la condensation du lubrifiant doit être réduite au minimum	Lubrifiants avec faible dégagement gazeux		
	Protection du verre contre l'attaque de composés agressifs	Revêtement de cire		
	Pompes à vide pour spectromètres	Lubrifiant (huile)		
Industrie chimique	Machines pour la production de produits chimiques oxydants	Les lubrifiants à base de PFAS ne réagissent pas à l'oxygène et réduisent ou préviennent ainsi les risques d'incendie, d'auto-inflammation et d'explosion par rapport à d'autres types de lubrifiants	Inhibiteur de corrosion Inhibiteur d'explosion Agent lubrifiant	
	Disques de rupture et joints pour échangeurs de chaleur, unités de synthèse et réacteurs	Lubrifiants avec inertie chimique		
	Vannes, raccords, couplages, joints toriques et joints d'étanchéité exposés à des produits chimiques réactifs et corrosifs	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Industrie du chlore (et du brome) : pompes à vide, compresseurs, vannes et robinets, vaporisateurs de chlore, tiges de vannes, assemblage et réparation des vannes de bouteilles de chlore, entretien des wagons-citernes (vannes), filetages	Lubrifiants (huiles, graisses) avec résistance chimique dans un environnement agressif		
	Systèmes d'étanchéité pour les pompes centrifuges et rotatives. Systèmes d'étanchéité pour agitateurs et mélangeurs rotatifs dans les processus chimiques réactifs. Produits d'étanchéité pour faces de brides	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		
	Equipements utilisés dans le processus de fluoration pour le moulage par soufflage de bouteilles en polyéthylène et de réservoirs d'essence	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		
	Mélange de contrôle des déversements de trioxyde de soufre	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs		
Papier (SU6b)	Roulements à rouleaux des machines à papier ondulé	Lubrifiants résistant aux températures élevées	Agent lubrifiant	
	Blanchiment de la pâte à papier chlore, chlorate de sodium, dioxyde de chlore, oxygène et peroxyde d'hydrogène	Lubrifiants	Stabilisateur thermique	
Offshore / Pétrole & gaz (SU2b)	Vis, écrous, ancrs magnétiques, boulons, etc.	Lubrifiants avec très bonnes propriétés tribologiques et résistance à l'usure	Agent lubrifiant	
	Produits d'étanchéité pour emboîtement/tubage pour filets haute définition en acier chrome	/	Stabilisateur thermique	
	Roulements	Lubrifiants chimiquement inertes avec stabilité thermo-oxydante, faible pression de vapeur et faible inflammabilité	Inhibiteur de corrosion	
	Systèmes d'étanchéité pour pompes centrifuges et rotatives	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs	Retardateur de flammes	
	Outils de forage en milieu sulfuré	Lubrifiants antigrippants		
	Unités d'alkylation de raffineries	Lubrifiants d'alkylation (compatibles avec l'acide fluorhydrique et les acides sulfuriques)		
	Equipements d'exploration pétrolière	Fluides de remplissage d'instruments		

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Industrie du gaz en vrac (SU23)	Service oxygène – Electrovanne de commande à distance, filetage, compteurs rotatifs, compresseurs à membrane, pompes à vide pour l'évacuation des bouteilles d'oxygène et des réservoirs de stockage en vrac (cryogéniques), pompes à vide pour le nettoyage des plasmas d'oxygène, roulements pour pompes à oxygène liquide (LOX) et compresseurs dans les installations d'oxygène portatives	Lubrifiants/huiles avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs Liquide de remplissage d'instruments	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion	
	Gaz de soudage – roulements des pompes LOX et pompes à vide pour l'évacuation des bouteilles d'oxygène	Lubrifiants/huiles avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs et avec faible dégazage		
	Service hélium – compresseurs d'hélium et régulateurs d'hélium	Lubrifiants/huiles avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs et avec faible dégazage		
	Pompe à dioxyde de carbone	Huile avec faible dégazage		
Plastiques	Industrie de transformation des polymères Moules d'injection, broches d'éjection, des curseurs, des unités de pliage et des surfaces de glissement dans les outils de moulage par injection de plastique	Lubrifiants externes (moules, broches...) Lubrifiants internes : souvent, du PTFE en micro-poudre est ajouté au polymère comme additif de lubrification/traitement des polymères avant le traitement	Stabilisateur thermique Agent lubrifiant	
	Accessoires de câble en silicone	Lubrifiants		
	Roulements supportant les chaînes qui passent dans un four	Lubrifiants résistant aux températures élevées		
Produits de consommation grand public	Chaînes de vélo	Lubrifiants à sec	Agent lubrifiant	
	Fermetures à glissière étanches	Lubrifiants à sec		
	Secteur alimentaire : Revêtements intérieurs de récipients métalliques pour aliments et boissons Lubrifiants pour applications « hautes températures » - Chaînes et roulements (par exemple, dans les fours) Pièces mécaniques mobiles, semi-fermées ou fermées	Protection de la surface sur laquelle le lubrifiant est utilisé Lubrifiants stables chimiquement et résistant à la température	Inhibiteur de corrosion Agent lubrifiant	

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Ferroviaire (SU17)	Soupapes dans les groupes motopropulseurs	Lubrifiants résistant aux températures élevées et aux produits chimiques	Agent lubrifiant	
	Lubrification de la porte du train	Lubrifiants résistant aux températures élevées	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	
Industrie du caoutchouc et du pneu	Moules à pneus pour réduire le grippage, la rugosité ou le gauchissement des joints mobiles	Lubrifiants résistant aux températures élevées	Stabilisateur thermique Agent lubrifiant	
Industrie métallurgique (SU15)	Traitement des métaux réfractaires tels que le tantale, le molybdène, le tungstène, le rhénium, le titane et le niobium	Huile de coupe/étirage/formage	Agent lubrifiant	
	Fabrication de fils et de câbles tissés pour une utilisation sûre dans des applications agressives	Lubrifiants avec inertie chimique au contact de liquides et de gaz réactifs, corrosifs ou explosifs	Inhibiteur de corrosion	
	Huiles de coupe pour améliorer la durée de vie des outils	Additifs		
	Usinage des alliages à haute teneur en nickel	Lubrifiants		
Industrie sidérurgique (SU14)	Joints tournants dans les systèmes d'alimentation en oxygène et les systèmes de chauffage à l'oxygène	Lubrifiants (graisses) résistance à une large gamme de températures	Stabilisateur thermique Agent lubrifiant Agent lubrifiant	
Secteur alimentaire :	Lubrifiants pour applications « hautes températures » - Chaînes et roulements (par exemple, dans les fours)	Réduire les pertes par frottement	Agent lubrifiant	
	Pièces mécaniques mobiles, semi-fermées ou fermées	Lubrifiants stables chimiquement et résistant à la température	Stabilisateur thermique	
Textile (SU5)	Lubrifiants employés dans certains roulements industriels (par exemple dans des fours)	Lubrifiants résistant aux températures élevées	Agent lubrifiant Stabilisateur thermique	
Traitement des eaux usées (SU23)	Chlorateurs, pompes, vannes, etc.	Lubrifiants compatibles avec les produits chimiques pour le traitement de l'eau	Agent lubrifiant	
	Equipements de compactage pour la fabrication de produits chimiques pour piscines	Lubrifiants compatibles avec, par exemple, l'hypochlorite de calcium et les cyanurates chlorés	Inhibiteur de corrosion	

Sous-secteur d'usage	Applications : Dispositifs à lubrifier	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Pompes péristaltiques utilisées dans les applications de l'industrie de l'eau potable pour le dosage de produits chimiques	Lubrifiants inertes chimiquement		
Industrie pharmaceutique (SU5)	Applications en salle blanche (y compris les robots en salle blanche)	Lubrifiants avec faible dégazage	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion	
Solvant porteur	Solvants porteurs (dans lubrifiants en dispersion)	Assurer un revêtement lisse des lubrifiants, des silicones, des adhésifs ou d'autres matériaux	Solvant	
Autres secteurs et applications industrielles non spécifiquement mentionnés ci-dessus	Lubrifiants pour chaînes, roulements, roulements à billes, paliers lisses, pivots, vannes et régulateurs automatiques	Lubrifiants	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion	
	Téléphériques : Roulements à paliers lisses pour les charnières, les sièges inclinables, les amortisseurs de vibrations, les tendeurs de chaînes, les amortisseurs de chocs, les pompes, les suspensions, etc.	Lubrifiants		
	Toutes sortes de machines industrielles avec des pièces mobiles	Lubrifiants		
	Vannes	Lubrifiants		
	Assemblage de boulons, vis, écrous et joints en général	Lubrifiants à sec		
	Diverses applications « service oxygène » : systèmes présentant un risque élevé de contact avec une forte concentration d'oxygène (par exemple, lors de l'utilisation de certains types de pompes)	Lubrifiants		
	Mécanismes et dispositifs sous vide élevé	Lubrifiants		
	Equipements de bureau, y compris et les imprimantes	Lubrifiants		
	Outils électriques	Lubrifiants		
	Ascenseurs et escalators	Lubrifiants		

4.4.7.3 Disponibilité des alternatives

Comme présenté dans le Tableau 37, la base d'information sur les alternatives fait état d'alternatives disponibles pour quasiment toutes les applications³⁵. Cela signifie que des solutions sont *a priori* disponibles sur le marché mais leur pertinence reste à évaluer en situation. En particulier, les éléments du dossier de restriction et d'autres rapports indiquent sans grand détail la difficulté à définir des alternatives pour quelques applications critiques dans les environnements les plus contraignants (écarts de température importants, etc.). Au moment de la rédaction de ce rapport, il est probable que le diagnostic sur la difficulté à trouver des alternatives aux PFAS pour certaines applications en lien avec la lubrification ne soit pas mature.

Le Tableau 38 liste les alternatives identifiées. D'une manière générale, les alternatives aux PFAS pour les lubrifiants sont divisées en trois grandes catégories :

- Les alternatives à base de silicones, qui incluent des huiles de base et des additifs.
- Les alternatives synthétiques organiques, qui couvrent des huiles de base et des solvants.
- Les alternatives inorganiques ou autres, principalement utilisées comme additifs dans les lubrifiants.

Tableau 37 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Additifs pour lubrifiants	Applications pour la perte d'audition Automobile Aviation et aérospatiale Électronique et semi-conducteurs Énergie renouvelable Équipement d'aide aux personnes handicapées Équipement de plongée Équipements hospitaliers Fournitures, équipements et instruments de laboratoire Industrie chimique Papier Pétrole et gaz Plastiques Produits de consommation (par ex. lubrifiant pour chaîne de vélo) Secteur alimentaire Trains
	Huile de base/graisse	Applications pour la perte d'audition Automobile Aviation et aérospatiale Électronique et semi-conducteurs Énergie renouvelable Équipement de plongée Équipements hospitaliers Fournitures, équipements et instruments de laboratoire Horlogerie Industrie chimique Industrie du caoutchouc et du pneu Industrie du gaz en vrac Industrie métallurgique Industrie pharmaceutique Industrie sidérurgique Papier Pétrole et gaz Plastiques Produits de consommation (par exemple, instruments de musique)

³⁵ Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : produits employés pour les instruments de musique) en fonction du type d'alternative envisagée.

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
		Secteur alimentaire Textile Trains Traitement des eaux usées
	Solvants porteurs	Solvants porteurs
Manque d'informations	Huile de base/graisse	Produits de consommation (par exemple, instruments de musique)
Pas d'alternative identifiée	Huile de base/graisse	Lubrifiants utilisés dans des conditions extrêmes (larges plages de températures, résistance aux radiations et aux produits chimiques agressifs)

Tableau 38 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des lubrifiants

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Additifs pour lubrifiants	Applications pour la perte d'audition Automobile Aviation et aérospatiale Électronique et semi-conducteurs Énergie renouvelable Équipement d'aide aux personnes handicapées Équipement de plongée Équipements hospitaliers Fournitures, équipements et instruments de laboratoire Industrie chimique Papier Pétrole et gaz Plastiques Produits de consommation (par ex. lubrifiant pour chaîne de vélo) Secteur alimentaire Trains	Alternatives disponibles	Graphite Disulfure de molybdène (MoS2) Graphène (modifié) Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Laque dorée phénolique-mélatamine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE)
Huile de base/graisse	Applications pour la perte d'audition Automobile Aviation et aérospatiale Électronique et semi-conducteurs Énergie renouvelable Équipement de plongée Équipements hospitaliers Fournitures, équipements et instruments de laboratoire Horlogerie Industrie chimique Industrie du caoutchouc et du pneu Industrie du gaz en vrac Industrie métallurgique Industrie pharmaceutique Industrie sidérurgique Papier Pétrole et gaz Plastiques Secteur alimentaire	Alternatives disponibles	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Textile Trains Traitement des eaux usées		
	Produits de consommation (par exemple, instruments de musique)	Alternatives disponibles ou situation incertaine	Cordes en boyau Cordes en nylon Cordes métalliques tressées Cordes sans revêtement Graphite Huile minérale blanche
Solvants porteurs	Solvants porteurs	Alternative disponible	Alcool isopropylique (IPA) Bromure de n-propyle (nPB) Dichlorométhane (DCM, chlorure de méthylène) Hydrocarbures (acétone) Hydrocarbures (Benzène) Hydrocarbures (Heptane) Hydrocarbures (Hexane) Perchloroéthylène (PER) Siloxanes méthyliques volatils Trans-1,2-dichloroéthylène Trichloréthylène (TCE)

4.4.7.4 Synthèse bibliographique

Le dossier de restriction identifie plusieurs types de lubrifiants dans lesquels les PFAS peuvent être employés : les lubrifiants à faible viscosité, les graisses lubrifiantes, les films secs (formés après évaporation de solvants) et les agents de démoulage.

Les PFAS sont utilisés dans les lubrifiants et les huiles hydrauliques en raison de leurs propriétés physiques et chimiques et de leurs niveaux de performance élevés en matière de résistance aux températures extrêmes, aux radiations, performance sous pression élevée, non-inflammabilité, compatibilité avec divers matériaux (plastiques, métaux et alliages). La nécessité de requérir aux PFAS semble donc fortement corrélée à celle de devoir garantir des niveaux de performance élevés dans des contextes exigeants.

Selon les informations disponibles des alternatives aux PFAS existent sur le marché. Les huiles de silicone constituent une alternative importante dont la croissance est pressentie selon plusieurs sources, notamment en raison de la demande dans les secteurs de l'automobile, de la chimie et de l'électronique. Des matériaux comme le graphite, le disulfure de molybdène (MoS₂), le nitrure de bore et la silice amorphe sont considérés comme des alternatives aux applications du type micro-poudres employées comme additifs. Concernant les solvants, des alternatives synthétiques comme l'isopropanol (IPA) et le trichloroéthylène ont été identifiées. Toutefois, ce bilan ne doit pas être considéré comme le diagnostic de l'existence de substituts pertinents immédiatement disponibles. L'analyse des alternatives reste à affiner, tant du point de vue des potentiels impacts sanitaires, environnementaux et économiques que des niveaux de performance observés en situation d'application concrète. A ce jour, le dossier de restriction indique par exemple qu'aucun substitut n'a été trouvé pour les huiles de base PFPE (perfluoroalkyléther) utilisées dans des conditions extrêmes (températures allant de -80°C à +350°C, résistance aux radiations et aux produits chimiques agressifs) ; il mentionne par ailleurs que des alternatives identifiées, telles que les huiles de silicone ou les graisses au lithium, présentent des performances moindres ou des problèmes spécifiques, comme une plus grande sensibilité aux radiations ou un comportement de lubrification moins efficace. Les alternatives sont ainsi probablement non établies pour le secteur nucléaire à ce jour.

D'un point de vue économique, certaines alternatives comme les solutions à base de graphite ou de nitrure de bore sont souvent plus onéreuses. Et si les alternatives aux PFAS peuvent également être moins coûteuses au niveau des matières premières, les efforts de recherche et développement permettant de produire de nouvelles formulations combinant plusieurs alternatives peuvent eux-mêmes être coûteux. Il en résulte que les applications dans l'aéronautique, l'automobile et la défense, pour lesquelles les conditions d'utilisation sont exigeantes et les plus susceptibles de nécessiter des ajustements pour maintenir des standards fonctionnels et garantir la certification des alternatives seront ceux pour lesquels la substitution sera la plus complexe.

4.4.8 Le pétrole et les mines (SU2b)

En raison de leur vaste gamme de propriétés, les PFAS sont largement utilisés dans les industries pétrolières et minières.

Dans l'exploration et la production pétrolières et gazières, les PFAS employés sont principalement des fluoropolymères. L'utilisation la plus courante de ces matériaux concerne les composants des équipements et des tuyaux utilisés pour l'extraction, le transport et le stockage des ressources pétrolières pour lesquels ils sont employés comme revêtements pour prévenir ou réduire la corrosion induite par le pétrole (ou l'eau de mer en milieu offshore), les canalisations employées étant généralement en acier (plutôt qu'en alliages résistants à la corrosion, plus coûteux). Au-delà de la prévention de la corrosion les fluoropolymères sont utilisés pour l'étanchéité des tuyaux flexibles et des équipements d'extraction (joints, joints toriques, vannes, etc.), ainsi que pour l'isolation de différents câbles techniques (électriques, fibres optiques) exposés aux conditions extrêmes des forages profonds (températures élevées, présence de vapeur).

Les PFAS non-polymères trouvent également des applications dans ce secteur comme fluides de forage, traceurs pour cartographier les réservoirs de pétrole et de gaz, etc.

En ce qui concerne le secteur minier, des applications similaires sont supposées pour les fluoropolymères mais peu d'informations sont disponibles. Des PFAS non-polymères seraient utilisés pour augmenter l'efficacité de l'extraction notamment dans les mines de cuivre et d'or, mais la réalité de cet usage reste à conformer.

Dans le cadre de l'élaboration du dossier de restriction, peu d'informations ont pu être réunies sur les volumes de PFAS employés. Une estimation qualifiée d'approximative, indique 3 500 à 7 500 tonnes de fluoropolymères par an au niveau Européen auxquels il faut ajouter quelques tonnes par an de PFAS non-polymères.

4.4.8.1 Substances employées

Le Tableau 39 indique le nombre élevé de substances PFAS répertoriées dans la base d'information et associées à chaque usage. Le Tableau 40 indique les substances apparaissant le plus dans la base d'information pour application dans le secteur du pétrole et des mines.

Tableau 39 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur du pétrole et des mines (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Pétrole et mines	122
Applications minières	25
Équipements	13
Extraction de minerais et de minéraux	12
Exploration et production de pétrole	112
Additifs pour lubrifiants	3
Équipements	13
Fluide de forage	3
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	19
Produits chimiques de production	50
Produits chimiques de stimulation	10
Traceurs d'eau et de gaz	25

Tableau 40 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	4
2-Propenoic acid, 2-methyl-, docosyl ester...	1040208-71-6	2
2-Propenoic acid, 2-methyl-, docosyl ester...	1040208-85-2	2
2-Propenoic acid, 2-methyl-, decyl ester...	1040208-92-1	2
2-Propenoic acid, 2-methyl-, docosyl ester...	1040209-02-6	2
Ethylene tetrafluoroethylene copolymer	25038-71-5	2
Fluorinated ethylene propylene	25067-11-2	2
Perfluoro(propyl vinyl ether)-tetrafluoro ethylene ...	26655-00-5	2
Poly(oxy-1,2-ethanediyl)...	29117-08-6	2

4.4.8.2 Cartographie des usages

Le Tableau 41 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur de l'exploration et de la production pétrolières et gazières ainsi que dans le secteur minier en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 41 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur du pétrole et des mines

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Applications minières	Revêtements d'équipements : tuyaux, câbles, flexibles, bandes transporteuses, joints, roulements et membranes	Assurer la résistance dans les environnements difficiles	Durcisseur	[1] ; [25] ; [26] ; [58], [83]
		Protection de l'équipement contre la corrosion induite par l'huile	Inhibiteur de corrosion	
		Protection de l'équipement contre les températures extrêmement élevées	Stabilisateur thermique	
	Extraction de minerais et de minéraux	Récupération des minéraux	Agents de suppression du brouillard acide	[1] ; [26] ; [58], [83]
		Améliorer le taux de récupération (lixiviation) des métaux	Agent mouillant	
		Réduire la formation d'aérosols lors des processus de récupération des minéraux	Agent mouillant	
		Flottage du minerai (Améliorer la séparation des sels métalliques du sol)	Tensioactifs	
		Non identifié	Mousse	
Exploration et production de pétrole	Nombreux équipements : Tuyauteries, débitmètres, raccords, joints compensateurs, composants de traitement des fluides, cuves de traitement, réservoirs, conteneurs de stockage et de transport Équipement de filtration Colonnes montantes et conduites d'écoulement flexibles Amortisseurs de vibrations Conduites à haute pression utilisées dans les systèmes d'étranglement et d'obturation en mer Éléments d'obturation Joints utilisés dans les opérations de forage en fond de puits (par exemple, applications d'étanchéité des brides, équipement de tête de puits et d'arbre de Noël) Actionneurs pneumatiques, dispositifs de régulation pneumatique Corps de vanne	Revêtements, filtres et matériaux avec une extrême durabilité, une résistance mécanique et une résistance à la corrosion dans les environnements extrêmes rencontrés dans les forages « fond de trou » (par exemple, haute température, haute pression, présence de vapeur, d'huiles et de produits chimiques agressifs)	Retardateur de flammes	[1] ; [25] ; [26] ; [58], [83]
			Durcisseur	
			Inhibiteur de corrosion	
			Stabilisateur thermique	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Dispositifs anti-souffle Garnitures de vannes Joints de vannes, tubes élastiques Pompes submersibles Joints toriques Revêtements de pompe Joints de tuyaux Évents d'emballage – fuites et ruptures Capteurs capacitifs et leurs câbles de connexion Distributeurs, buses, compresseurs Vannes à bille, Coupleurs hydrauliques sous-marins Équipement de transfert de fluides Echangeurs de chaleur Tuyaux flexibles			
	Revêtements d'isolation pour câbles de communication dans les forages pétroliers et gaziers (câbles électriques de fond de puits, câbles de fond de puits à fibres optiques, les câbles hybrides électriques/fibres...)	Assurer la résistance dans les environnements difficiles	Durcisseur	
	Fluide de forage	Améliorer l'extraction du pétrole et du gaz Agent moussant qui initie et prolonge les fractures dans la formation géologique Produits chimiques de stimulation : récupération assistée du pétrole et du gaz (RAH) pour favoriser le déplacement du pétrole/gaz des formations de sable et de roche souterraines	Mousse	[1] ; [25] ; [26] ; [55], [58], [83]
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Lubrifiants chimiquement inertes avec stabilité thermo-oxydante, faible pression de vapeur et faible inflammabilité	Agent lubrifiant Retardateur de flammes Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[83]
	Produits chimiques utilisés pour la production de pétrole	Non identifié	Antimousse	[1], [58], [83]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Produits chimiques de stimulation pour la récupération des hydrocarbures	Améliorer les produits de stimulation de la récupération du pétrole/gaz	Tensioactifs	[1], [16], [58], [83]
	Traceurs d'eau et de gaz	Cartographier les réservoirs de pétrole et de gaz	Traceur	[1] ; [25] ; [36] ; [58], [83]
	Autres utilisations non confirmées en Europe :	Empêcher l'évaporation des combustibles liquides (ex : essence) pendant le stockage et le transport	Tensioactifs	[1] ; [58], [83]
	Film de surface aqueux destiné à limiter l'évaporation des carburants liquides (par exemple l'essence) Confinement du gaz et du pétrole lors du transport des produits pétroliers Confinement d'hydrocarbures lors de déversements sur de l'eau	Manque d'informations		

4.4.8.3 Disponibilité des alternatives

Comme présenté dans le Tableau 42, la base d'information sur les alternatives fait état d'alternatives disponibles ou dont la pertinence reste à éprouver pour la majorité des applications. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : équipements dans les applications minières) en fonction du type d'alternative envisagée. Le Tableau 43 liste les alternatives identifiées.

D'une manière générale, les alternatives ne semblent pas disponibles pour les applications en lien avec les fluides de forage, ainsi que pour certaines applications minières, ces dernières étant toutefois mal documentées.

Tableau 42 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Applications minières Exploration et production de pétrole	Équipements
		Équipements
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Applications minières Exploration et production de pétrole	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
		Produits chimiques de production
Pas d'alternative identifiée	Applications minières Exploration et production de pétrole	Traceurs d'eau et de gaz
		Équipements
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Applications minières Exploration et production de pétrole	Équipements
		Équipements
Pas d'alternative identifiée	Applications minières Exploration et production de pétrole	Film de surface aqueux
		Produits chimiques de production
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Applications minières Exploration et production de pétrole	Produits chimiques de stimulation
		Extraction de minerais et de minéraux
Pas d'alternative identifiée	Applications minières Exploration et production de pétrole	Fluide de forage

Tableau 43 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur du pétrole et des mines

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Applications minières	Équipements	Alternatives disponibles ou Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer	Alliages à base de nickel (avec Cu, Mo et Cr) Alliages de base de cuivre (avec Ni, Fe, Mn) Caoutchouc nitrile hydrogéné (HNBR) Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Fibre de verre Fibres de carbone Matériaux à base de céramique Polyamides Polyéther éther cétone (PEEK) Polyéthylène réticulé (XL PE) Solutions à base de cellulose Systèmes à base d'époxy
Exploration et production de pétrole	Équipements	Alternatives disponibles	Alliages à base de nickel (avec Cu, Mo et Cr) Alliages de base de cuivre (avec Ni, Fe, Mn) Caoutchouc nitrile hydrogéné (HNBR) Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Polyéther éther cétone (PEEK) Polyéthylène réticulé (XL PE)
		Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer	Fibre de verre Fibres de carbone Matériaux à base de céramique Polyamides Solutions à base de cellulose Systèmes à base d'époxy
	Film de surface aqueux	Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer	Alkyl éthoxy carboxylés Alkylphénols polyéthoxylés Éthoxylate d'alcool de tridécyle 30 (TDA 30 EO) Éthoxylate d'alcool secondaire Éthoxylate de nonylphénol NEODOL 67 Sulfate propoxylé (N67-7POS) NEODOL éthoxylate 91-8

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Alternative disponible	NEODOLs surfactant[1] Poly(éthylène/propylène) éther de glycol Polyglycoside d'alkyle (APG) Synperonic® PE/F68 Tergitol surfactants Triphénylméthane (TPM) Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS2) Graphène (modifié) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes Laque dorée phénolique-mélatamine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE) PDMS
	Produits chimiques de production	Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer	2,6-diméthylheptan-4-one Éther monométhyle du dipropylène glycol Polymères de silicone Polypropylène glycol (PPG) Produits à base de 1,2,4-triméthylbenzène Produits à base de naphthalène Siloxanes d'éthyle
	Produits chimiques de stimulation	Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer	Alkoxy sulfate Alkyl (ou alcool) éthoxy sulfate (AES) Alkyl aryl polyalkoxy alkyl sulfonate Alkyl polyalkoxy alkyl sulfonate Alpha-oléfine sulfonate (AOS) Docusate de sodium

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Éthoxy glycidyl sulfonates N-Ethoxy sulfonate Propoxy glycidyl sulfonates Sulfate d'alcool alkylique propoxylé Sulfate d'alcool propoxy (APS) Sulfate d'alkyle (AS) Sulfate d'alpha oléfine Sulfate de sodium et de dodécyle (SDS) Sulfates d'éther d'alkyle (AES) Sulfonate d'alkyl benzène ramifié Sulfonate d'alkylbenzène (linéaire) Sulfonate interne d'oléfine (IOS) Sulfonates d'alkyle et d'aryle Tensioactifs anioniques Gemini
	Traceurs d'eau et de gaz	Alternatives disponibles	^{110m} Ag ¹²⁴ Sb ¹³¹ I ¹³³ Xe ¹⁴⁰ La ¹⁹² Ir ²⁴ Na ⁴¹ Ar ⁴⁶ Sc ⁵⁶ Mn ^{99m} Tc Acides benzoïques fluorés (FBA) Hydrocarbures polyhalogénés (par exemple, fréon-11 et -12) Traceurs isotopiques radioactifs/radiomarqués, par exemple gaz inorganiques (krypton ou xénon) Traceurs isotopiques radioactifs/radiomarqués, par exemple traceurs marqués au d13C ou d18O

4.4.8.4 Synthèse bibliographique

Revêtements de conduites (et autres composants)

Certaines alternatives aux polymères fluorés, comme le PEEK, peuvent répondre aux fonctionnalités requises pour certaines applications et conditions, avec une limitation de son emploi liée à une résistance chimique (par exemple à l'acide sulfurique) inférieure à celle du PTFE. D'autres polymères non fluorés (EPDM, HNBR) ou des aciers et alliages sont également des alternatives potentielles, mais avec également des limites à leurs performances qui peuvent dans certains cas se traduire en coûts d'exploitation et maintenance plus élevés.

Agents anti-mousses lors des traitements

Les produits à base de silicone/siloxane, notamment les huiles poly(diméthylsiloxane) non fluorées sont des alternatives aux agents anti-mousse à base de PFAS pour le secteur pétrolier et minier, et sont commercialisées par un grand nombre de fabricants (par exemple Wacker, Dow, Clearco, Elkem) commercialisent des agents anti-mousse non fluorés pour ce secteur et cette application spécifiques.

D'autres alternatives mentionnées dans les documents consultés sont les éthylsiloxanes, le polypropylène glycol, les produits à base de naphthalène/1,2,4-triméthylbenzène.

Leurs caractéristiques conduisent à les utiliser à des concentrations plus élevées pour obtenir des performances similaires, dont leur coût est probablement plus élevé, ce qui toutefois n'a pas empêché leur adoption généralisée dans ce secteur.

Traceurs

Le principe des traceurs est qu'ils se comportent de manière suffisamment similaire au fluide étudié dans son réservoir. Ainsi, les traceurs gaz/pétrole doivent avoir une faible solubilité dans l'eau, tandis que les traceurs aqueux doivent être solubles dans l'eau et y être très mobiles.

Les traceurs radioactifs/radiomarqués isotopiques sont déjà utilisés depuis des décennies et sont également considérés comme l'alternative la plus probable si aux PFAS. Des hydrocarbures polyhalogénés tels que le fréon 11 et 12 pourraient également être utilisés. Ces produits sont toutefois couverts par le Protocole de Montréal en raison de leur potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone et il s'agit de gaz à effet de serre.

Les acides benzoïques fluorés (ABF), qui ne sont pas considérés comme des PFAS, sont largement utilisés comme traceurs pour milieux aqueux, mais ils ne sont pas adaptés pour le traçage des hydrocarbures. Ils pourraient présenter des risques pour l'environnement et la santé humaine.

Le cyclopropane a été également proposé comme alternative, mais il présente également des dangers.

Dans l'ensemble, il apparaît que des alternatives sont disponibles, mais que certaines présentent également des inconvénients en termes de dangers pour la santé et pour l'environnement.

4.4.9 Les textiles, tapisseries, cuirs, habillements et tapis - TULAC (SU5)

Les PFAS sont couramment utilisés dans de nombreux produits textiles, d'ameublement, de cuir, d'habillement et de tapis (l'acronyme TULAC est employé pour Textiles, Upholstery, Leather, Apparel and Carpets) destinés aux secteurs de la construction, de l'automobile, de l'habillement ou de la médecine, les principales propriétés recherchées étant la déperlance à l'eau, la résistance aux huiles, la protection contre les taches et la stabilité thermique. Le dossier de restriction fait état d'une consommation annuelle importante, comprise entre 41 000 et 143 000 tonnes (nombres arrondis) dont plus de 75% sont des fluoropolymères (33 000 à 110 000 tonnes), le PTFE - employé par exemple dans les membranes Gore Tex - en représentant environ la moitié (15 000 à 68 000 tonnes).

Au sein du secteur de l'habillement, environ 80% des PFAS sont employés pour des vêtements ordinaires, 10% pour des équipements de protection individuelle, les 10% restant étant utilisés pour les chaussures et équipements de sport (professionnels et loisirs) [89].

Enfin, il peut être utile de souligner une application particulière parmi les textiles techniques : celle de membranes haute performance (ou média de filtration) qui trouvent des applications dans de nombreux secteurs. Les membranes en polytétrafluoroéthylène expansé (ePTFE) sont de plus en plus utilisées dans de nombreux secteurs présentant des environnements chimiques agressifs tels que la pharmacie, la production d'énergie, l'automobile et l'aérospatial. Par ailleurs, les filtres non tissés recouverts de polymères fluorés à chaînes latérales sont employés dans les turbines à gaz, les applications hydrauliques, l'industrie nucléaire, les applications respiratoires, ainsi que le contrôle de la pollution de l'air et la collecte de poussière. Certaines de ces applications ont fait l'objet de discussions pour dérogation dans le cadre de la restriction du PFHxA³⁶.

4.4.9.1 Substances employées

Le Tableau 44 indique le nombre de substances PFAS répertoriées dans la base d'information et associées à chaque usage. Le Tableau 45 indique les substances apparaissant le plus dans la base d'information pour application dans le secteur des textiles.

Tableau 44 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des textiles (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
TULAC	128
Applications pour le cuir	37
Fongicide	37
Vêtements d'intérieur et d'extérieur	37
Vêtements et chaussures de sport professionnels	37
Produits à base de cuir	37
Autres applications	79
Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules	79
Textile technique	85
Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux)	79
Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile et le secteur médical)	81
Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, bâches, tentes, voiles, cordes)	84

³⁶ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AL_202402462

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Textiles de maison	97
Revêtements à base de textile	86
Rideaux et stores	79
Tapis et moquettes	91
Traitements textiles	14
Spray d'imprégnation pour textile	9
Traitement pendant la production textile	5
Vêtements grand public	89
Accessoires	89
Fongicide	89
Vêtements de plein air	89
Vêtements de sport	89
Vêtements d'intérieur	89
Vêtements professionnels	80
Équipements de protection professionnelle à usage industriel et professionnel	79
Vêtements et chaussures de sport professionnels	80

Tableau 45 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	19
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	19
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2	19
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	335-77-3	19
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4	19
6:2 Fluorotelomer alcohol	647-42-7	19
2-Propenoic acid, 2-methyl-, octadecyl ester...	142636-88-2	18
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	1763-23-1	18
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8	18
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3	18
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1	18
N-Methyl perfluorobutane sulfonamidoethanol	34454-97-2	18
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	355-46-4	18
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	375-73-5	18
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	18
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	375-92-8	18
Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	18
Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA)	376-06-7	18
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	72629-94-8	18
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	18

4.4.9.2 Cartographie des usages

Le Tableau 46 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des produits textiles, d'ameublement, de cuir, d'habillement et de tapis en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 46 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des textiles

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Applications pour le cuir	Traitement fongicide	Améliorer la durabilité	Agent imperméabilisant	[1] ; [2] ; [4] ; [7] ; [12] ; [13] ; [14] ; [15] ; [16] ; [17] ; [21] ; [25] ; [29] ; [36] ; [44] ; [65] ; [76] ; [83]
	Traitement de produits ou articles à base de cuir	Protection de l'utilisateur contre les conditions météorologiques	Agent antitache	
	Vêtements d'intérieur et d'extérieur et chaussures	Améliorer l'imperméabilité	Stabilisateur thermique	
	Vêtements et chaussures de sport professionnels	Protection du produit contre la transpiration pendant les activités sportives	Stabilisateur UV	
Textile technique	Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux)	Améliorer la durabilité	Agent imperméabilisant	[1] ; [2] ; [7] ; [14] ; [25] ; [29] ; [36] ; [44] ; [55] ; [60] ; [65] ; [69] ; [76] ; [83]
	Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile et le secteur médical)	Protection contre l'eau	Agent antiadhésif	
		Protection contre l'exposition au sang ou à d'autres fluides corporels	Agent antitache	
Textiles de maison	Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, bâches, tentes, voiles, cordes)	Améliorer la durabilité	Stabilisateur thermique	
		Améliorer la protection contre l'eau salée	Stabilisateur UV	
		Protection contre l'eau	Inhibiteur de corrosion	
Textiles de maison	Revêtements à base de textile (nappes, literie...)	Résistance à une large gamme de températures	Durcisseur	
	Rideaux et stores	Améliorer la durabilité		
	Tapis et moquettes	Améliorer la protection contre l'eau salée		
Textiles de maison		Protection contre l'eau		
		Protection du produit contre la poussière		
		Protection du produit contre les graisses		
Textiles de maison		Améliorer l'esthétique	Agent antitache	[1] ; [2] ; [4] ; [7] ; [12] ; [14] ; [16] ; [25] ; [26] ; [27] ; [29] ; [36] ; [44] ; [56] ; [57] ; [65] ; [74] ; [76] ; [78] ; [80] ; [82] ; [83]
		Protection contre l'humidité	Agent imperméabilisant	
		Protection du produit contre les graisses		
Textiles de maison		Prévenir le développement de moisissures		

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Traitements textiles	Spray d'imprégnation pour textile	Améliorer l'esthétique et imperméabiliser les produits	Agent antitache Agent imperméabilisant	[26] ; [83]
	Traitement pendant la production textile	Agents antiadhérents pour teintures Agents antimousses dans bains de traitement textiles et/ou agents émulsifiants pour finition des fibres Améliorer l'efficacité du processus Améliorer la qualité du produit final	Agent antiadhésif Agent mouillant Anti-mousse	
Vêtements	Accessoires (parapluies, sacs, portefeuilles, etc.)	Améliorer la durabilité	Agent imperméabilisant	[1] ; [2] ; [4] ; [7] ; [9] ; [12] ; [14] ; [16] ; [19] ; [25] ; [29] ; [36] ; [44] ; [56] ; [60] ; [65] ; [71] ; [74] ; [76] ; [78] ; [80] ; [81] ; [83]
	Vêtements de plein air	Protection de l'utilisateur contre les conditions météorologiques	Agent antiadhésif	
	Vêtements de sport	Améliorer l'imperméabilité	Agent antitache	
	Chaussures	Protection du produit contre la transpiration pendant les activités sportives	Stabilisateur thermique	
	Vêtements d'intérieur	Améliorer l'esthétique Protection contre l'eau Protection du produit contre les graisses	Stabilisateur UV	
Vêtements professionnels	EPI ³⁷ à usage industriel et professionnel (autres que vêtements de sport)	Protection du produit contre les graisses et l'eau Résistance à une large gamme de températures Protection de l'utilisateur contre la poussière Améliorer la durabilité Améliorer l'esthétique	Durcisseur Inhibiteur de corrosion Agent antiadhésif Agent antitache Agent imperméabilisant	[1] ; [7] ; [14] ; [25] ; [33] ; [36] ; [44] ; [56] ; [65] ; [83]
	Vêtements et chaussures de sport professionnels	Protection de l'utilisateur contre les conditions météorologiques Protection du produit contre la transpiration pendant les activités sportives Empêche les pieds d'être mouillés	Stabilisateur UV	

³⁷ Equipement de Protection Individuelle

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Améliorer la durabilité Améliorer l'esthétique		
Autres applications	Membranes de filtration industrielle : Pharmacie, production d'énergie. Applications médicales / protection respiratoire Traitement de l'air et collecte de poussière	Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs Améliorer la durabilité Protection du produit contre les graisses et l'eau	Agent antiadhésif Agent antitache Stabilisateur thermique	[1]
Autres applications	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules	Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer l'isolation acoustique à l'intérieur du compartiment moteur du véhicule Assurer une bonne stabilité à haute température Fournir une résistance à l'huile au textile	Inhibiteur de corrosion Retardateur de flammes Stabilisateur thermique Isolant Agent antiadhésif	[83]

4.4.9.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 47 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : membranes à haute performance) en fonction du type d'alternative envisagée. Les informations sur les alternatives sont précisées dans les deux tableaux suivants.

Tableau 47 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Applications pour le cuir	Fongicide Produits à base de cuir Vêtements d'intérieur et d'extérieur Vêtements et chaussures de sport professionnels
	Autres applications Textile technique	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux) Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile et le secteur médical) Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, bâches, tentes, voiles, cordes)
	Textiles de maison	Revêtements à base de textile Rideaux et stores Tapis et moquettes
	Vêtements de consommation	Accessoires Fongicide Vêtements de plein air Vêtements de sport Vêtements d'intérieur
	Vêtements professionnels	Équipements de protection professionnelle à usage industriel et professionnel Vêtements et chaussures de sport professionnels
Alternative au stade recherche et développement	Textile technique	Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux) Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile et le secteur médical) Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, bâches, tentes, voiles, cordes)
Pas d'alternative identifiée	Traitements textiles	Traitement pendant la production textile

Le Tableau 48 ci-après répertorie les alternatives disponibles sans distinction des sous-usages et applications par soucis de lisibilité. Seules les alternatives aux PFAS dans les textiles techniques sont présentées séparément dans le Tableau 49 car leur niveau de maturité est différent. Pour une présentation plus détaillée des alternatives propres à chaque application, il est recommandé de se référer à la base d'information.

Tableau 48 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des textiles (hors textiles techniques)

Sous-usage	Applications	Alternatives répertoriées	
Applications pour le cuir	Fongicide Produits à base de cuir Vêtements d'intérieur et d'extérieur Vêtements et chaussures de sport professionnels	Alcools, C12-16, éthoxylés (>5-15 EO) APGLO - Plasma Dry Technology sans PFOA Aquapel™ - DWR sans PFAS Autres types de tissage	Imprégnation Eco DWR sans PFC Intrepid - membrane imper-respirante Isobutyltriméthoxy silane LIFA INFINITY PRO™
Textiles de maison	Revêtements à base de textile Rideaux et stores Tapis et moquettes	Bioguard Zero - hydrofuge BIONIC-FINISH® ECO	Mélange de n-octyltriéthoxysilane et de silicone réactif Mélanges de silicones et de chlorure de stéaramidométhylpyridine, parfois associés à des résines de carbamide (urée) et de mélamine.
Vêtements de consommation	Accessoires Fongicide Vêtements de plein air Vêtements de sport Vêtements d'intérieur	Cires Cire de carnauba Composé organique de silicium Copolymère d'acrylate	Membrane étanche sans fluor Membrane imperméable à l'eau et au vent sans PFC Méthylsiliconate de potassium Méthylsiliconate de sodium eau
Vêtements professionnels	Équipements de protection professionnelle à usage industriel et professionnel Vêtements et chaussures de sport professionnels	Crypton C-Zero technologie de performance sans fluor Dendrimères Dermizax - laminé sans PFC Des « moustaches » hydrophobes attachées moléculairement à des fibres individuelles. Utilise un polymère hydrocarboné. Dispersion anionique à base d'eau d'un polyéther polyuréthane mat Dispersion de cire de paraffine et de copolymère acrylique. Dispersion de cire modifiée Dispersion de polymères d'hydrocarbures Dispersion de produits chimiques modifiés par des graisses et de paraffine Dispersion de siloxane avec polyamide modifié Dispersion d'huiles de paraffine et d'une résine de mélamine modifiée par la graisse. Non ionique/cationique. Dodécaméthyl pentasiloxane DropelTech Cotton - tissu hydrofuge et antitache fabriqué à partir de fibres naturelles DWR sans fluor : HC303 et NIA ecorepel - Répulsif à l'eau et à la boue sans PFC Emulsion de polydiméthylsiloxane. Cationique Émulsion de silicone à base d'eau Evo Protect D - Hydrofuge sans fluor	miDori® evoPel - déperlant durable « DWR » de pointe MLSE® - Multiplexed Laser Surface Enhancement for Textile (Amélioration de la surface des textiles par laser multiplexé) Nanoman™ - Produits de traitement basés sur la nanotechnologie Nanooki textile & Nanooki Leather - Sans PFC, PFOA, PFAS Naphta (pétrole), hydrotraité lourd Octylsilane Octyltriéthoxysilane ORGANOTEX® est une technologie hydrofuge sans fluorocarbène pour les textiles. Oxyde de polyéthylène Mono-C12-16-Alkyl Ether Paraffine Pas d'alternative potentielle identifiée PDMS PDMS aminofonctionnel Permutex® WR 43-064 - hydrofuge sans PFC Polymère acrylique et dispersion de dérivés gras. Polymère acrylique et dispersion de paraffine. Polymère acrylique et dispersion réactive de silicone Polymère acrylique et dispersion réactive de silicone.
Autres applications	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules		

Sous-usage	Applications	Alternatives répertoriées
	EVORAL NFP - Hydrofuge sans PFC (Textile) Finition Zelan™ R3 : Finition hydrofuge non fluorée, biosourcée et durable. Gonflement des fibres au contact de l'humidité GreenShield ZERO - Finition sans fluor pour une résistance aux taches à base d'eau HDF™ sans fluor HeiQ Eco Dry - Déperlance durable (DWR) sans fluor (non-PFC) Hexyltriethoxysilane Huile de graines de plantes, produit bio Huiles de paraffine et résine de mélamine modifiée par des graisses Huiles de paraffine et résine de mélamine modifiée par des matières grasses et polyisocyanates bloqués Hybride (Silicone/Hydrocarbone) Hydrofuges durables non fluorés High IQ® Repel HYDROSIN NF-01 - Hydrofuge our textiles HyperDRY™ Fluorocarbon Free Water Resistant Down Insulation (Isolation en duvet résistant à l'eau)	Polymère acrylique, silicone réactif et dispersion de paraffine. Polymère non ionique, composé ester Polymères/cires fonctionnalisés Polysiloxane Polysiloxane d'alkyle Polysiloxane et polyester Polysiloxanes aminofonctionnels Porelle Dry - membrane imperméable et respirante Préparation aqueuse de cires polymères Reapret - hydrofuge Sciessent Curb® Hydrofuge durable sans fluor Série NEOSEED® : Hydrofuge durable sans fluor Silsesquixanes terminés par du méthoxy Solution de silicone diluable au solvant Texfin HTF Unidyne XF - émulsion polymère à base d'eau sans fluor

Tableau 49 : Recensement et état des alternatives disponibles dans les textiles techniques

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Textile technique	Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux)	Alternatives disponibles	APGLO - Plasma Dry Technology sans PFOA Aquapel™ - DWR sans PFAS Bioguard Zero - hydrofuge BIONIC-FINISH® ECO Crypton C-Zero technologie de performance sans fluor DWR sans fluor : HC303 et NIA EVORAL NFP - Hydrofuge sans PFC (Textile) GreenShield ZERO - Finition sans fluor pour une résistance aux taches à base d'eau HYDROSIN NF-01 – Hydrofuge pour textiles Membrane imperméable à l'eau et au vent sans PFC MLSE® - Multiplexed Laser Surface Enhancement for Textile (Amélioration de la surface des textiles par laser multiplexé) Permutex® WR 43-064 - hydrofuge sans PFC Reapret - hydrofuge Sciessent Curb® Hydrofuge durable sans fluor Série NEOSEED® : Hydrofuge durable sans fluor Texfin HTF
	Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile et le secteur médical) Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, bâches, tentes, voiles, cordes)	Alternative au stade recherche et développement	Unidyne XF - émulsion polymère à base d'eau sans fluor Dispersion anionique à base d'eau d'un polyéther polyuréthane mat Dispersion aqueuse, sans solvant, anionique d'un polyéther uréthane aliphatique Polyuréthane

4.4.9.4 Synthèse bibliographique

Les PFAS sont utilisés dans de nombreuses applications du secteur dans les textiles, rembourrage, l'industrie du cuir, des vêtements et des tapis (TULAC). Leurs principales propriétés sont la résistance à l'eau, la résistance aux huiles, la protection contre les taches et la stabilité thermique.

Le dossier de restriction indique que selon la littérature et les informations fournies par les parties prenantes lors des consultations publiques, l'utilisation annuelle des PFAS serait comprise entre 41 000 et 143 000 t (chiffres arrondis) en Europe.

Les fluoropolymères semblent représenter la très grande majorité des usages des PFAS dans les TULAC, le PTFE étant le plus employé. La situation en termes de disponibilité des alternatives est résumée dans les paragraphes ci-après.

Textiles d'intérieur

Cette catégorie comprend les tapis, les moquettes, les rideaux, les stores et les revêtements à base de textiles (par exemple les nappes, la literie, les revêtements de sièges). Elle inclut également les véhicules (par exemple, les tapis et les housses de siège) et les lieux publics (par exemple, les hôpitaux et les transports publics).

En résumé, les alternatives suivantes peuvent être considérées comme techniquement réalisables pour une utilisation dans ce domaine :

- Dendrimères
- Hybride silicone/hydrocarbures
- Hydrocarbures
- Polyuréthane
- Silicones (pour les tapis et moquettes uniquement)

Une étude de 2020 commandée par la Commission européenne (Wood, 2020b) indique que « des développements importants ont été réalisés au cours des 10 dernières années pour produire une nouvelle génération de formulations qui n'utilisent aucune chimie à base de fluor. [Ils] sont utilisés dans un certain nombre de pays [...] dans une gamme de produits tels que les applications grand public et les tapis. » Le rapport conclut également que des alternatives sont techniquement réalisables pour les applications grand public qui incluent les textiles de maison.

Vêtements grand public

Il s'agit notamment de vêtement d'extérieur (dont sport/ski, manteaux, chaussures, chapeaux), et d'intérieur. Étant donné que les propriétés fonctionnelles recherchées pour ces produits sont globalement similaires à celles des textiles d'intérieur, les alternatives relevées sont les mêmes, avec en plus le recours à des technologies alternatives (par exemple de protection contre le froid autre que par des vêtements « techniques »). Sur la base du même rapport et d'autres sources d'information consultées dans le cadre de cette étude, il apparaît que des alternatives sont techniquement réalisables pour ces usages.

Cuir

Sont concernés les vêtements d'intérieur et d'extérieur, les chaussures, les vêtements et chaussures de sport (professionnels) et les revêtements de siège, ainsi que divers accessoires comme les sacs, portefeuilles, ceintures, gants et selles. Les alternatives et leur faisabilité sont similaires aux cas des textiles d'intérieur et des vêtements pour le grand public. Toutefois, certains inconvénients des alternatives sont à noter comme une moins bonne résistance des cuirs traités aux matières grasses et aux taches diverses.

Vêtements professionnels (hors EPI)

Pour ce secteur, les exigences de performances sont plus élevées que pour les textiles d'intérieur, mais les alternatives recensées sont les mêmes, à l'exception des hybrides de silicones et d'hydrocarbures :

- Dendrimère
- Hydrocarbures
- Polyuréthane
- Silicones
- Technologies alternatives

L'ensemble des sources d'information va dans le sens d'une faisabilité des alternatives pour la plupart des utilisations.

Équipements de protection individuelle (EPI)

Cette catégorie recouvre les casques de sécurité et anti-bruit, les gants, les lunettes de protection, les combinaisons de protection contre les matières dangereuses, les vêtements de haute visibilité, les chaussures de sécurité, les harnais de sécurité, les bouchons d'oreilles, et les équipements de protection respiratoire.

Le règlement UE 2016/425 annexe I distingue trois types d'EPI, ce qui fournit une base permettant d'analyser de façon différenciée la disponibilité des alternatives aux PFAS en fonction du niveau de performance requis dans chacune de ces catégories :

- Catégorie I (a) – (e) : protection contre les risques minimales
- Catégorie II : risques autres que ceux listés dans les catégories I et III
- Catégorie III (a) – (m) : risques pouvant entraîner des conséquences très graves telles que la mort ou des dommages irréversibles à la santé.

C'est ainsi qu'a procédé l'ECHA lors de l'instruction du Dossier de restriction sur les PFAS dans le cadre de REACH, et nous en résumant ici les conclusions, qui sont également confirmées par les autres sources documentaires que nous avons consultées. Selon cette analyse, les PFAS ne sont requis, du fait de leur performance uniques, que pour certains risques au sein de la Catégorie III, à savoir la protection contre les substances et les mélanges dangereux pour la santé, et contre les agents biologiques dangereux. Pour deux autres cas, les informations manquent pour clairement établir la nécessité des PFAS et la disponibilité d'alternatives, à savoir la protection contre des coupures par tronçonneuses à main, et les blessures par balle ou coups de couteau.

Dans le cas des EPI utilisés pour les militaires, les niveaux de performances requis sont au moins égaux à ceux mentionnés ci-dessus comme requérant l'usage de PFAS, donc il ne semble pas exister d'alternatives en général dans ce domaine à ce jour. La situation semble analogue pour les EPI à destination des pompiers et des personnes intervenant sur des situations de crise et d'urgence.

4.4.10 Le secteur des transports (SU17)

Les PFAS sont largement utilisés dans le secteur des transports. Nombre d'applications sont présentées plus en détail dans d'autres sections de ce rapport (et peuvent donc conduire à des redites) : usages dans les lubrifiants, les systèmes de réfrigération et de climatisation, dans les systèmes de protection contre l'incendie, ou comme revêtements. Cependant, certaines applications sont particulières à ce secteur qui englobe l'automobile, les transports maritime, aérien et ferroviaire, notamment pour la construction des carrosseries, des coques et des fuselages, pour assurer différents types d'étanchéité dans les systèmes de propulsion, ou comme inhibiteurs de corrosion dans les fluides hydrauliques des systèmes de direction, de freinage, etc.

Les volumes de PFAS utilisés annuellement dans ce secteur sont associés à une grande incertitude. Il semble que les fluoropolymères constituent la grande majorité des usages. En se basant sur une utilisation moyenne de l'ordre de 350 à 800 grammes de fluoropolymères par véhicule, le dossier de restriction présente des volumes annuels de l'ordre de 6 400 à 14 600 tonnes par an dans le secteur automobile, auxquels il faut ajouter 13 000 tonnes de PFAS employés pour les systèmes de climatisation et de réfrigération mobile.

4.4.10.1 Substances employées

Le Tableau 50 indique le nombre de substances PFAS répertoriées dans la base d'information et associées à chaque usage. Le Tableau 51 indique les substances apparaissant le plus dans la base d'information pour application dans le secteur des transports.

Tableau 50 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des transports (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Secteur des transports	596
Applications d'étanchéité	21
Soupapes, joints, pistons, appareils électroniques, électrodes de batteries, etc.	21
Autres applications	1
Fluides de flottaison dans les gyroscopes	1
Construction de carrosseries, de coques et de fuselages	48
Procédé de placage pendant la construction de la carrosserie, de la coque ou du fuselage	48
Fluides hydrauliques	7
Système de freinage	7
Génie électrique et technologie de l'information	138
Batteries (notamment lithium-ion)	13
Composants électroniques	62
Fils et câbles	6
Piles à combustible (pour les véhicules à hydrogène)	5
Produits et composants semi-conducteurs	72
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	19
Automobile	19
Aviation et aérospatiale	19
Industrie du caoutchouc et du pneu	6
Trains	19
Protection contre l'incendie	325
Mousses anti-incendie (extincteurs)	325
Revêtements et finitions	53
Application d'antialissures	7
Essuie-glaces	33
Matériau d'isolation	33
Matériel de garniture à l'intérieur des véhicules	42
Revêtements stables aux UV pour la protection de la peinture des véhicules	37

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Roulements sans lubrification (par exemple, tendeurs de courroie, volants d'inertie à deux masses, mécanisme de fixation des sièges, pédalier)	41
Surfaces en verre	34
Textiles intérieurs des véhicules	10
Système de moteur à combustion	79
Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules	79
Systèmes CVC (Chauffage, ventilation et climatisation)	57
Agents de gonflement	12
Climatisation mobile	4
Réfrigération des moyens de transport de marchandises	30
Refroidissement par immersion de l'électronique	17

Tableau 51 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	16
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	13
6:2 Fluorotelomer alcohol	647-42-7	12
8:2 Fluorotelomer alcohol	678-39-7	12
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3	11
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	27619-97-2	11
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	11
Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	11
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8	10
Fluorinated ethylene propylene	25067-11-2	10
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	10
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1	10
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2	10
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4	10
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	10
Ammonium perfluorooctanoate	3825-26-1	10
Poly(oxy-1,2-ethanediyl)...	65545-80-4	10

4.4.10.2 Cartographie des usages

Le Tableau 52 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des transports en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 52 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des transports

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Applications d'étanchéité	Soupapes, joints toriques, joints de vannes, joints d'étanchéité, joints pour arbre ou pour piston, joints de dispositifs électroniques (capteurs de NOX et d'oxygène dans la surveillance des gaz d'échappement), joints pour les électrodes des batteries Li-Ion ou des piles sèches	Améliore la pénétration dans le matériau, ce qui augmente l'adhérence	Agent mouillant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [25] ; [29] ; [83]
		Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs		
		Garantit de bonnes propriétés d'étanchéité dans une large gamme de températures		
		Prévenir les fuites (par exemple dans les injecteurs de carburant), ce qui réduit les émissions.		
		Matériaux légers, inertes chimiquement, présentant de bonnes propriétés d'étanchéité et de résistance à la pression dans une large gamme de températures		
Construction de carrosseries, de coques et de fuselages	Procédé de placage ou traitement de surface pendant la construction de la carrosserie, de la coque ou du fuselage	Améliorer la durabilité	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Agent mouillant Antitache	[1] ; [25] ; [36] ; [83]
		Prévenir la formation d'aérosols de Cr(VI)		
		Assurer une bonne répartition du revêtement sur le métal		
	Production de composants de moules destinés à la fabrication de pièces en plastique	Films/Membranes antiadhérents de démoulage		
	Production de pièces composites en fibres de carbone			
	Process de revêtement de surface métallique (ex : chromage)			
	Carrosseries	Absorbeurs de bruit		
Fluides hydrauliques	Secteur automobile : Systèmes de direction, de freinage ou d'autres applications spéciales telles que les systèmes de levage et d'abaissement des pièces de véhicules ou des cargaisons	Améliorer la durabilité	Inhibiteur de corrosion	[1] ; [12] ; [15] ; [16] ; [17] ; [25] ; [26] ; [27] ; [29] ; [36] ; [55] ; [83]
	Secteur aérospatial : Systèmes de commande de vol des avions, actionneurs pour les surfaces de vol, trains d'atterrissage d'avions, actionneurs dans les systèmes de défense			

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Génie électrique et technologie de l'information	Revêtements pour film séparateur dans les batteries au lithium-ion	Améliorer la durabilité Améliorer l'efficacité	Inhibiteur de corrosion Isolant	[1] ; [25] ; [55] ; [83]
	Composants électroniques	Améliorer la durabilité Protection contre l'eau Empêcher la formation de poussière sur les composants électroniques (par exemple, les filtres à air) Améliorer la résistance à l'usure et aux rayures Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer une faible perte de signal	Agent imperméabilisant Agent antiadhésif Durcisseur Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Durcisseur Retardateur de flammes Isolant	
	Revêtements pour fils et câbles	Améliorer la durabilité Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs Améliorer la sécurité Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Améliorer l'efficacité Assurer une bonne stabilité à haute température Protection contre l'humidité	Durcisseur Inhibiteur de corrosion Stabilisateur UV Inhibiteur de corrosion Agent imperméabilisant Retardateur de flammes Isolant Stabilisateur thermique Agent imperméabilisant	
	Piles à combustible : Liant et conducteur de protons dans les couches catalytiques Couche de diffusion des gaz et agent hydrophobe des composants Cf. secteur d'usage « Energie »	Améliorer la durabilité Améliorer l'efficacité Assurer la conversion de l'énergie chimique en électricité Résistance à une large gamme de températures <i>Manque d'informations</i>	Durcisseur Liant Isolant Agent conducteur Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Transmission de données : Couche à faible indice de réfraction pour fibres optiques	Manque d'informations	Manque d'informations	
	Produits et composants semi-conducteurs	Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer une bonne hydrophobie Assurer une bonne stabilité à haute température Résistance à la graisse, aux taches, etc.	Retardateur de flammes Agent imperméabilisant Stabilisateur thermique Agent antiadhésif	
	Systèmes informatisés (systèmes de contrôle, télécommunications, systèmes de sécurité)	Cf. Secteur d'usage « Electronique et semi-conducteurs »		
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Cf. secteur d'usage « Lubrifiants »			
Sécurité des personnes et protection contre l'incendie	Protection contre l'incendie	Cf. secteur d'usage « Mousse anti-incendies »		
	Gilets/Radeaux de sauvetage	Stabilité thermique et mécanique des polymères	Stabilisateur thermique	
	Systèmes d'airbags (probablement le boîtier, le matériau de l'airbag)	Faible coefficient de frottement	Agent antiadhésif	
	Ceintures de sécurité (mécanisme de rétraction uniquement)			
Revêtements et finitions	Application d'antialissures	Prévenir la prolifération des micro-organismes	Agent imperméabilisant	[1] ; [25] ; [36], [83]
		Protection contre l'eau	Agent imperméabilisant	
	Essuie-glaces	Améliorer la durabilité	Durcisseur	
	Matériau d'isolation	Améliorer les performances d'isolation des matériaux isolants	Isolant	
	Revêtements stables aux UV pour la protection de la peinture des véhicules de transport	Améliorer la durabilité Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs	Stabilisateur UV	
	Câbles (par ex. câbles du système de réduction catalytique sélective des moteurs diesel) Tuyaux (par ex. tuyaux des filtres à particules pour moteurs diesel et essence, tuyaux de turbocompresseur et conduites de liquide de refroidissement, conduites de liquide de refroidissement du moteur et conduites de refroidissement de l'huile...)	Revêtements hydrophobes résistants à une large gamme de températures, à l'abrasion, aux substances chimiques, au feu et aux UV, antitaches	Inhibiteur de corrosion	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Revêtement de matériaux d'isolation pour réduire leur conductivité thermique			
	Disques de freinage			
	Revêtements de protection des peintures (ex. revêtement pour les emballages des voitures)	Améliorer l'apparence Améliorer la résistance à la fissuration du revêtement	Durcisseur	
	Textiles intérieurs des véhicules (sièges, tapis, revêtements de toit...)	Améliorer l'apparence Améliorer la résistance aux taches Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Protection contre l'eau Éviter les défauts de surface (par exemple les fissures) sur le revêtement	Agent antiadhésif Retardateur de flammes Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Stabilisateur UV Agent mouillant Durcisseur	
	Matériel de garniture intérieure des véhicules	Améliorer la résistance aux taches Donner à la surface un aspect et un toucher de qualité	Agent antiadhésif	
	Revêtements antialissures sur la coque des navires	Améliorer la résistance aux intempéries	Agent imperméabilisant	
	Roulements sans lubrification (par exemple, tendeurs de courroie, volants d'inertie à deux masses, mécanisme de fixation des sièges, pédalier)	Assurer une bonne stabilité à haute température Réduire les pertes d'énergie	Agent lubrifiant Stabilisateur thermique	
	Surfaces en verre	Améliorer la visibilité	Agent imperméabilisant Agent antiadhésif	
Système de moteur à combustion	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules pour isolation acoustique	Traitements oléophobes et pour la résistance thermique et la protection contre les incendies Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs	Inhibiteur de corrosion Retardateur de flammes Isolant Stabilisateur thermique Agent antiadhésif	[1] ; [25] ; [29] ; [36] ; [55] ; [83]
	Tubes et tuyaux à paroi unique pour des applications telles que les turbocompresseurs, la recirculation des gaz d'échappement, les filtres à particules diesel ou le frein moteur	Matériaux légers, inertes chimiquement, présentant de bonnes propriétés d'étanchéité et de résistance à la pression dans une large gamme de températures		

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Systèmes de chauffage, ventilation et climatisation	Mousses destinées à l'isolation des véhicules	Agents de gonflement de mousses utilisées pour assurer l'isolation thermique (par exemple dans les camions frigorifiques)	Mousse	[1] ; [25] , [83]
	Systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation et de réfrigération mobiles	Fluides de transfert thermique pour refroidir l'intérieur des moyens de transport (voitures, trains, camions)	Agent de transfert de chaleur	
	Réfrigération dans le transport de marchandises	Fluides de transfert thermique pour la préservation des marchandises pendant le transport	Agent de transfert de chaleur	
	Refroidissement par immersion de l'électronique	Fluides de transfert thermique pour refroidir les éléments électroniques (par exemple, les batteries des voitures, les centres de données)	Agent de transfert de chaleur	
	Systèmes de refroidissement/chauffage des batteries de traction des véhicules électriques	Fluides de transfert thermique	Agent de transfert de chaleur	
	Filtres à particules à haute efficacité (HEPA)	Matériaux	Manque d'informations	
Autres applications	Fluides de flottaison dans les gyroscopes (« horizon artificiel » pour les avions, capteurs d'inclinaison dans les trains et systèmes de navigation et de contrôle dans les véhicules routiers)	Fluides de flottaison	Manque d'informations	[83]
	Signalisation routière (bandes de marquage...) : Revêtements réfléchissants et protecteurs ou revêtements anti-graffiti	Marquages et signalisation résistant aux salissures et aux intempéries	Agent antiadhésif Agent imperméabilisant	
	Autres procédés électriques spécifiques au secteur des transports (par exemple, traitement des eaux de ballast)	Matériaux pour pièces de systèmes de traitement des eaux de ballast résistant à la corrosion, aux hautes températures, empêchent les charges électrostatiques	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	

4.4.10.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 53 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : réfrigération des transports de marchandises) en fonction du type d'alternative envisagée. Pour rappel, il s'agit d'inventaires de solutions potentielles, mais la pertinence comme solution effective reste à éprouver dans chaque situation. Ces informations sont développées dans le Tableau 54 présentant les alternatives identifiées.

Tableau 53 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Applications d'étanchéité	Soupapes, joints, pistons, appareils électroniques, électrodes de batteries, etc.
	Construction de carrosseries, de coques et de fuselages	Procédé de placage pendant la construction de la carrosserie, de la coque ou du fuselage
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Automobile
	Protection contre l'incendie	Aviation et aérospatiale
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Revêtements et finitions	Industrie du caoutchouc et du pneu
		Trains
		Mousses anti-incendie
		Matériel de garniture intérieure des véhicules
Alternative au stade recherche et développement		Revêtements stables aux UV pour la protection de la peinture des véhicules
		Roulements sans lubrification (par exemple, tendeurs de courroie, volants d'inertie à deux masses, mécanisme de fixation des sièges, pédalier)
		Surfaces en verre
		Textiles intérieurs des véhicules
Manque d'informations	Système de moteur à combustion	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules
	Systèmes CVC	Agents de gonflement
		Climatisation mobile
		Refroidissement par immersion de l'électronique
Pas d'alternative identifiée	Génie électrique et technologie de l'information	Produits et composants semi-conducteurs
	Systèmes CVC	Agents de gonflement
		Batteries au lithium-ion
		Piles à combustible PEM
Manque d'informations		Climatisation mobile
		Réfrigération des transports de marchandises
		Refroidissement par immersion de l'électronique
		Procédé de placage pendant la construction de la carrosserie, de la coque ou du fuselage
Pas d'alternative identifiée		Batteries au lithium-ion
		Fils et câbles
		Réfrigération des transports de marchandises
		Fluides de flottaison dans les gyroscopes
Pas d'alternative identifiée		Système de freinage
		Composants électroniques
		Application d'antisalissures
		Essuie-glaces
Pas d'alternative identifiée		Matériau d'isolation

Tableau 54 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des transports (** : alternatives référencées à l'échelle du sous-usages, et non nécessairement pour toutes les applications)

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Applications d'étanchéité	Soupapes, joints, pistons, appareils électroniques, électrodes de batteries, etc.	Alternatives disponibles	Caoutchouc d'acrylate (ACM) Caoutchouc de silicone Caoutchouc nitrile-butadiène (NBR) Joints mécaniques (par exemple, céramiques)
Construction de carrosseries, de coques et de fuselages	Procédé de placage pendant la construction de la carrosserie, de la coque ou du fuselage	Alternative disponible/Incertain	3-[dodécyl(diméthyl) ammonio]propan-1-sulfonate (n° CAS)...* Alkane sulfonates Amines alkylées en C12-C14, éthoxylées (n° CAS 61791-14-8) Barrières physiques...*) Dépôt de métal par laser (LMD), LMD à grande vitesse Dépôt physique en phase vapeur (PVD) Huiles de paraffine, sulfochlorées, saponifiées (n° CAS 68188-18-1) Isodécanol éthoxylé (n° CAS 61827-42-7) Liquides ioniques anhydres à base de sels de chrome (III) Oléoamines éthoxylées (par exemple, mélanges avec la (Z)-Octadéc-9-énylamine éthoxylée CAS-No. 26635-93-8) Placage de chrome(III) Procédé de cémentation, par exemple nitruration au plasma Pulvérisation thermique, par exemple le procédé HVOF (high velocity oxygen fuel) Revêtements à base de nickel Solutions acides de permanganate, mélanges d'acide nitrique et d'acide trichloracétique. Sulfonation des plastiques avec du trioxyde de soufre en phase gazeuse
Génie électrique et technologie de l'information	Batteries au lithium-ion	Alternative au stade recherche et développement/Incertain	Batteries à électrolyte solide Batteries au plomb
	Fils et câbles	Manque d'informations	Élastomères d'hydrocarbures Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Matériaux à base de céramique Matériaux à base de silicone Polychlorure de vinyle (PVC)

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Piles à combustible	Alternative au stade recherche et développement	Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK) Matériaux électrofilés de type polybenzimidazole Membrane d'hydrocarbures Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK) Polysulfone (PSU)
	Produits et composants semi-conducteurs	Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Retardateur de flamme bromé Retardateur de flamme chloré
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Automobile Aviation et aérospatiale Industrie du caoutchouc et du pneu Trains	Alternatives disponibles**	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS2) Graphène (modifié) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes Laque dorée phénolique-méla mine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (Tungsten Disulphide)
Protection contre l'incendie	Mousses anti-incendie	Alternative disponible	Cf. Les mousses anti-incendie (SU0)), section 4.4.3
Revêtements et finitions	Matériel de garniture à l'intérieur des véhicules Revêtements stables aux UV pour la protection de la peinture des véhicules de transport Roulements sans lubrification (par exemple, tendeurs de courroie, volants d'inertie à deux masses, mécanisme de fixation des sièges, pédalier) Surfaces en verre	Alternative disponible	Acrylates d'alkyle Aromatiques propylés Polyuréthanes et -acryliques Produits chimiques à base de silicone Sulfates d'éthers de polyglycol d'alcools gras Sulfosuccinates
		Alternative disponible	Acrylates d'alkyle Produits chimiques à base de silicone
	Textiles à l'intérieur des véhicules	Alternative disponible	Alcools, C12-16, éthoxylés (>5-15 EO) APGLO - Plasma Dry Technology sans PFOA Aquapel™ - DWR sans PFAS

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Bioguard Zero - hydrofuge BIONIC-FINISH® ECO Cires Cire de carnauba Copolymère d'acrylate Crypton C-Zero technologie de performance sans fluor Dendrimères Polymères hydrocarbonés hydrophobes Dispersion anionique à base d'eau d'un polyéther polyuréthane mat Dispersion anionique à base d'eau, sans solvant, d'un polycarbonate aliphatique uréthane dispersion aqueuse, sans solvant, anionique d'un polyéther uréthane aliphatique Dispersion de cire de paraffine et de copolymère acrylique. Dispersion de cire modifiée Dispersion de polymères d'hydrocarbures Dispersion de produits chimiques modifiés par des graisses et de paraffine Dispersion d'huiles de paraffine et d'une résine de mélamine modifiée par la graisse. Non ionique/cationique. DropelTech Cotton - tissu hydrofuge et antitache fabriqué à partir de fibres naturelles DWR sans fluor : HC303 et NIA ecorepel - Répulsif à l'eau et à la boue sans PFC Evo Protect D - Hydrofuge sans fluor EVORAL NFP - Hydrofuge sans PFC (Textile) Finition Zelan™ R3 : Finition hydrofuge non fluorée, biosourcée et durable. GreenShield ZERO - Finition sans fluor pour une résistance aux taches à base d'eau Huile végétale (bio) Huiles de paraffine et résine de mélamine modifiée par des graisses Huiles de paraffine et résine de mélamine modifiée par des matières grasses et polyisocyanates bloqués Hybride (Silicone/Hydrocarbure) HYDROSIN NF-01 – Hydrofuge pour textiles

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Mélanges de silicones et de chlorure de stéaramidométhylpyridine, parfois associés à des résines de carbamide (urée) et de mélamine. miDori® evoPel - déperlant durable « DWR » » de pointe » MLSE® - Multiplexed Laser Surface Enhancement for Textile (Amélioration de la surface des textiles par laser multiplexé) Nanoman™ - Produits de traitement basés sur la nanotechnologie Naphta (pétrole), hydrotraité lourd Oxyde de polyéthylène Mono-C12-16-Alkyl Ether Paraffine Permutex® WR 43-064 - hydrofuge sans PFC Polymère acrylique et dispersion de dérivés gras. Polymère acrylique et dispersion de paraffine. Polymère non ionique, composé ester Polymères/cires fonctionnalisés Polysiloxane et polyester Polyuréthane Préparation aqueuse de cires polymères Reapret - hydrofuge Sciessent Curb® Hydrofuge durable sans fluor Série NEOSEED® : Hydrofuge durable sans fluor Texfin HTF Unidyne XF - émulsion polymère à base d'eau sans fluor
Système de moteur à combustion	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules	Alternative disponible	Unidyne XF - émulsion polymère à base d'eau sans fluor
Systèmes CVC	Agents de gonflement	Alternative disponible	2-chloropropane Cyclopentane Dioxyde de carbone Iso-pentane Mousses soufflées à l'eau n-pentane Cellulose Chanvre Coton Fibre de verre
		Alternative disponible mais pertinence à démontrer	

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Climatisation mobile	Alternative disponible ou Alternative au stade recherche et développement	laine de mouton Laine minérale Mousse cimentaire Paille Air Dioxyde de carbone Propane Refroidissement élastocalorique
	Réfrigération des transports	Alternative au stade recherche et développement ou situation incertaine	Azote Dioxyde de carbone Isobutane Isolation n-butane Propane NH3
	Refroidissement par immersion de l'électronique	Alternative disponible/Alternative au stade recherche et développement	Huile minérale Huiles naturelles Huiles synthétiques Isobutane n-butane Propane NH3

4.4.10.4 Synthèse

Comme présenté en introduction, les PFAS sont utilisés dans le secteur des transports – qui couvre ici l'automobile, les transports maritime, aérien et ferroviaire – dans un grand nombre d'applications, dont certaines sont déjà couvertes dans d'autres parties de ce rapport. Les applications en lien avec les lubrifiants, les textiles, le traitement des métaux, l'énergie (batteries), l'électronique et la protection contre l'incendie ne sont donc pas présentées à nouveau ici.

En raison de leurs nombreuses propriétés déjà énoncées (performances élevées en matière de durabilité, de non-inflammabilité, de flexibilité et d'anti-adhésion dans une large gamme de conditions de fonctionnement difficiles, telles que la chaleur, le froid, les produits chimiques ou les radiations, pour un poids faible) les PFAS, et particulièrement les fluoropolymères sont employés :

- Pour la galvanoplastie lors de la construction de carrosseries, coques et fuselages.
- Dans les procédés de moulage pour la fabrication de pièces en plastique ou en fibres de carbone
- Comme absorbeurs de son dans les structures de véhicules, et plus généralement comme couvertures dans les compartiments moteurs pour l'isolation acoustique
- Pour diverses fixations soumises à la chaleur, aux intempéries et à l'usure générale

Dans ce domaine, peu d'informations spécifiques aux transports ont été obtenues dans le cadre du dossier de restriction.

Une grande partie des fluoropolymères sont employés dans les applications pour lesquelles une excellente étanchéité (aux fluides, à la poussière) est requise sur de larges gammes de température, face à des contraintes de compression forte et sous l'influence de produits chimiques agressifs (lubrifiants, carburants, électrolytes, agents de refroidissement et autres fluides). De très nombreux types de joints constitués en partie ou totalement (PTFE) de fluoropolymères sont ainsi identifiés et se trouvent employés dans l'ensemble du secteur.

Concernant ces applications, le dossier de restriction fait état d'alternatives disponibles, à base de polymères non fluorés par exemple (NBR ou HNBR), mais la conclusion ne vaut vraisemblablement pas pour tous les contextes d'usages (e.g. températures > 150°C).

Concernant les applications dans les moteurs à combustion (joints, vannes, tuyaux de carburants des moteurs à combustion, couvertures d'isolation acoustique), le dossier de restriction ne présente pas d'alternatives.

Des PFAS semblent pouvoir être employés comme inhibiteurs de corrosion dans les fluides hydrauliques, particulièrement dans l'aéronautique, mais les données obtenues dans le cadre de l'élaboration du dossier de restriction ne permettent pas de diagnostic précis à ce sujet. Néanmoins une absence d'alternative y est reconnue.

D'autres usages, *a priori* minoritaires, sont mentionnés dans le dossier de restriction : l'emploi de filtres haute efficacité en PTFE pour les systèmes d'air conditionnés dans les avions et les automobiles, un usage dans les fluides de flottaison des gyroscopes utilisés pour fournir un horizon artificiel, etc.

Enfin, de très nombreuses applications ont été documentées concernant le revêtement de pièces constituant les automobiles, avions, navires et trains : roulements sans lubrification, traitement des surfaces vitrées pour repousser l'eau et les tâches, revêtements de plaquettes de frein, de pantographes ferroviaires pour résister à la pluie, aux contaminants, aux arcs électriques et aux contraintes mécaniques, revêtements réfléchissants et protecteurs pour les panneaux de signalisation et les marquages routiers, etc.

En la matière, les applications semblent si nombreuses, les conditions d'usage si diverses et les normes industrielles si spécifiques qu'il est très difficile de conclure de façon générale sur la disponibilité d'alternatives. De nombreuses alternatives sont listées dans la base d'information pour cette application mais leur adéquation aux cahiers des charges industriels reste vraisemblablement à démontrer.

D'une manière générale, l'enjeu de la substitution des PFAS dans le secteur des transports illustre la difficulté à réaliser un diagnostic sur la disponibilité d'alternatives. Si les industriels –

et le dossier de restriction en fait plusieurs fois mention – indiquent qu'étant donné leur coût élevé les PFAS ne sont employés que lorsqu'ils sont indispensables, l'affirmation reste difficile à évaluer avec objectivité. Il semble indiscutable que les exigences de sécurité portées par les normes industrielles impliquent des exigences de performance élevées pour lesquelles peu ou pas d'alternatives sont disponibles. Toutefois, les PFAS sont aussi employés à des fins esthétiques par exemple pour lesquelles il est plus probable que ce soit l'attente des consommateurs qui justifie leur usage. Mais cette exigence des consommateurs n'est pas toujours démontrée. L'asymétrie d'information entre les industriels, principaux contributeurs à la rédaction des normes et détenteurs des exigences des consommateurs, et les pouvoirs publics, complique donc le diagnostic objectif de la disponibilité des alternatives.

4.4.11 La métallisation et la fabrication de produits métalliques (SU15)

Les PFAS sont largement utilisés dans les processus de placage des métaux, et dans la fabrication de produits métalliques destinés ensuite à d'autres secteurs comme les produits de construction ou les transports.

Selon le dossier de restriction, entre 25 et 330 tonnes de PFAS sont utilisées chaque année en Europe dans les processus de placages de métaux qui désigne l'application sur des surfaces métalliques et plastiques à des fins fonctionnelles et décoratives de chrome principalement, mais aussi de nickel, de cuivre, d'étain, de zinc, ainsi que le revêtement de particules de fluoropolymères sur l'acier et l'anodisation de l'aluminium. Ils permettent d'abaisser la tension superficielle des solutions de placage et de réduire les émissions d'aérosols. Parmi les PFAS, le sulfonate de fluorotélomère 6:2 (6:2 FTS) qui s'est historiquement substitué au PFOS interdit en vertu du règlement POP de l'UE (UE 2019/1021)³⁸ est le plus employé notamment dans les applications de chromage. Des fluoropolymères sont utilisés dans les applications de revêtement de nickel et d'aluminium. Peu d'informations sont disponibles concernant les placages d'autres métaux.

Par ailleurs, entre 110 et 970 tonnes de PFAS, tous fluoropolymères, sont documentés dans le dossier de restriction pour la fabrication de produits métalliques, comme inhibiteur de corrosion sur de l'acier, pour améliorer la durée de vie des bains et pour abaisser la tension superficielle. Le PTFE est par exemple employé dans la fabrication de lames de rasoir. Des usages de PFAS non fluoropolymères sont documentés [36] mais non estimés.

4.4.11.1 Substances employées

Le Tableau 55 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de la métallisation (source : [83]) fournit un panorama des applications et du nombre de substances PFAS répertoriées dans ce secteur. Le Tableau 56 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83]) présente les substances associées au plus grand nombre d'application dans la base d'information.

Tableau 55 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de la métallisation (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Métallisation et fabrication de produits métalliques	83
Fabrication de produits métalliques	53
Fabrication de produits métalliques	48
Lubrifiant	6
Placage de métaux	35
Chromage	30
Placage d'autres métaux	5

³⁸ Le PFOS reste autorisé en tant que supprimeur de brouillard (aérosols) pour le chromage dur (VI) non décoratif dans des systèmes en circuit fermé.

Tableau 56 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	27619-97-2	3
Potassium perfluorooctane sulfonate	2795-39-3	2
Perfluorohexane sulfonamide	41997-13-1	2
Tetraethylammonium perfluorooctane sulfonate	56773-42-3	2
2-(6-Chlorododecafluorohexyloxy)...	73606-19-6	2
Perfluorooctane sulfonamide	754-91-6	2

4.4.11.2 Cartographie des usages

Le Tableau 57 présente un inventaire général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur de la métallisation et de la fabrication de produits métalliques en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 57 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur de la métallisation

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Fabrication de produits métalliques	Revêtements robustes et/ou inertes chimiquement et/ou antiadhérents	Améliorer la durabilité	Agent imperméabilisant	
		Améliorer le nettoyage des bains	Inhibiteur de corrosion	
		Assurer la sécurité des travailleurs	Stabilisateur thermique	
		Assurer une bonne répartition de revêtements sur le métal	Tensioactifs	
		Augmenter la durabilité du bain	Agent mouillant	
		Favorise l'écoulement rapide de l'acide une fois le métal éliminé	Tensioactifs	
		Prévenir la formation d'aérosols de Cr(VI)	Agent antiadhésif	
		Prévenir la formation de fissures et de trous d'épingle	Agent lubrifiant	
	Lubrifiants pour roulements dans la fabrication de produits métalliques		Agent lubrifiant	
	Soudures	Fluides de phase vapeur Médiums de transfert de chaleur Fondants pour pâte de brasure	Manque d'informations	
Placage de métaux	Chromage fonctionnel ³⁹ et décoratif pour pièces soumises à la corrosion et à l'abrasion (cylindres hydrauliques, barres métalliques, roulements pour aéronefs et automobiles...)	Améliorer la qualité du produit final Améliorer l'efficacité du processus de revêtement Assurer une bonne répartition du revêtement sur le métal Prévenir la formation d'aérosols de Cr(VI)	Agent mouillant Suppresseur de fumée Antimousse	
	Placage d'autres métaux (Nickelage, cuivrage, placage d'étain)	Améliorer la qualité du produit final Améliorer l'efficacité du processus de revêtement Assurer une bonne répartition du revêtement sur le métal Prévenir la formation d'aérosols de Cr(VI) Prévenir la formation de fissures et de trous d'épingle	Agent mouillant Suppresseur de fumée Antimousse	
Autres usages en métallurgie	Electroextraction du cuivre et du nickel	Suppresseurs de brouillard acides	Fonction mal identifiée	
	Nettoyage et dégraissage de surfaces métalliques	Meilleure efficacité du processus	Solvant	

³⁹ Les PFAS étaient auparavant utilisés pour le chromage décoratif mais le remplacement du chrome VI par le chrome III a rendu superflue son emploi

4.4.11.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 58 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : chromage) en fonction du type d'alternative envisagée. Le Tableau 59 présente les alternatives identifiées.

Tableau 58 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Fabrication de produits métalliques Placage de métaux	Lubrifiant Chromage
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Placage de métaux	Chromage
Alternative au stade recherche et développement	Placage de métaux	Chromage
Pas d'alternative identifiée	Fabrication de produits métalliques Placage de métaux	Fabrication de produits métalliques Placage d'autres métaux

Tableau 59 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur de la métallisation

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Fabrication de produits métalliques	Lubrifiant	Alternative disponible	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes
Placage de métaux	Chromage	Alternative disponible	3-[dodécyl(diméthyl) ammonio]propan-1-sulfonate...* Alcane sulfonates Amines alkylées en C12-C14, éthoxylées (n° CAS 61791-14-8) Barrières physiques Dépôt de métal par laser (LMD), LMD à grande vitesse Dépôt physique en phase vapeur (PVD) Huiles de paraffine, sulfochlorées, saponifiées (n° CAS 68188-18-1) Isodécanol éthoxylé (n° CAS 61827-42-7) Oleoamines éthoxylées (par exemple, mélanges avec la (Z)-octadéc-9-énylamine éthoxylée CAS-No. 26635-93-8) Placage de chrome(III) Procédé de cémentation, par exemple nitruration au plasma Pulvérisation thermique, par exemple le procédé HVOF (high velocity oxygen fuel) Revêtements à base de nickel Solutions acides de permanganate, mélanges d'acide nitrique et d'acide trichloracétique. Sulfonation des plastiques avec du trioxyde de soufre en phase gazeuse « Closed coating reactor »
		Alternative disponible mais pertinence à démontrer	
		Alternative au stade recherche et développement	Liquides ioniques anhydres à base de sels de chrome (III)

4.4.11.4 Synthèse bibliographique

Méallisation

Dans la méallisation, les PFAS sont principalement utilisés comme agent mouillant (pour baisser la tension de surface) et comme agent de suppression de brouillard (c'est à dire diminuant les émissions d'aérosols par les bains de chromage, afin notamment de réduire l'exposition des opérateurs). Les PFAS interviennent ainsi dans la méallisation avec plusieurs métaux : le chrome (chromage dur, ou décoratif), le nickel, l'anodisation de l'aluminium, et d'autres métaux.

Concernant le chrome, des alternatives réalisables d'un point de vue technique et économique existent déjà pour certaines applications, mais d'autres sont encore en cours de développement, et sont plus avancées dans le domaine du chromage décoratif que dans celui du chromage dur/fonctionnel. La solution considérée comme la plus prometteuse consiste à changer la formulation du bain de chromage, en passant du Cr(VI) au Cr(III), ce qui évite le recours aux PFAS. Une autre solution envisageable est de continuer à utiliser le Cr(VI) mais d'employer d'autres tensio-actifs comme des alkyl sulfonates, mais cette alternative peut présenter des problèmes de performances (surtout dans le cas du chromage dur, puisque les niveaux de performance requis sont moins élevés pour le chromage décoratif). Une solution susceptible d'être mise en œuvre plus rapidement pour limiter le recours aux PFAS est d'utiliser des réacteurs fermés fonctionnant à pression négative.

Pour la méallisation avec d'autres métaux que le chrome, les informations concernant l'utilisation de substances fluorées sont limitées, et l'usage pourrait être moins répandu que dans le cas du chrome. Les fonctions des PFAS seraient similaires au cas du chrome donc, les alternatives seraient donc également similaires.

Parmi les alternatives on peut mentionner le lauryl sulfate de sodium comme un agent mouillant alternatif. En ce qui concerne le placage du nickel, il a été mentionné que le PTFE peut être remplacé par du MoS₂ ou du graphite, toutefois sans preuves concluantes sur la faisabilité de ces alternatives.

En conclusion, le potentiel de substitution pour le placage d'autres métaux semble mal connu et potentiellement faible.

Revêtements de métaux en PFAS

Les revêtements de PFAS sur les articles métalliques leur confèrent une résistance aux attaques chimiques (en particulier les acides), des propriétés thermiques spécifiques, une faible friction, une protection contre la corrosion et des propriétés d'étanchéité. Des alternatives potentielles au PTFE/PVDF, le polyester, le polyester modifié avec des silicones, le polyéther-éther-cétone (PEEK), les céramiques, le polyéthylène à très haut poids moléculaire (UHMWPE), mais leur niveau de performance comparativement aux PFAS reste à clarifier.

Solvant pour le nettoyage des métaux

Des solvants sans PFAS auraient été testés, mais les informations dans ce domaine d'utilisation sont très faibles.

4.4.12 L'électronique et le secteur des semiconducteurs (SU16)

Les PFAS sont largement utilisés dans l'industrie de l'électronique et des semi-conducteurs.

Les PFAS sont utilisés dans les processus de fabrication des produits et des composants électroniques comme consommables chimiques (e.g. solvants) et pour certains équipements (e.g. tubes, vannes, etc.). Ils sont également présents dans les produits et les composants électroniques eux-mêmes. Les applications sont très nombreuses : câbles coaxiaux, revêtements de divers dispositifs dont les circuits Intégrés, les écrans tactiles, les filtres de ventilation⁴⁰.

Le dossier de restriction fait état de 2 500 à 6 300 tonnes de PFAS employées par an en Europe, dont les deux tiers environ sont des fluoropolymères (de 1 500 à 4 600 tonnes). 800 à 1 500 tonnes sont des PFAS non-polymères, et 140 tonnes sont des gaz fluorés. L'industrie des semi-conducteurs représenterait environ la moitié des usages de fluoropolymères, et 10% des non-polymères.

4.4.12.1 Substances employées

D'après le dossier de restriction, le téflon (PTFE) et les polymères similaires (Teflon-PFA, Teflon-PFE) ainsi que le PVDF sont les PFAS les plus employés. Parmi les non-polymères, le PFBS, un surfactant, est particulièrement mentionné. D'une manière générale, le nombre de PFAS associé au secteur de l'électronique est élevé.

Le Tableau 60 présente les applications et le nombre de substances PFAS associées présents dans la base d'information, et le Tableau 61 répertorie les PFAS les plus cités – ce qui ne signifie pas nécessairement les plus employés mais dont la panoplie d'application semble la plus diverse.

Tableau 60 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur de l'électronique et des semiconducteurs (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Secteur électronique et semiconducteurs	237
Fabrication de semi-conducteurs	96
Centres de données	12
Chambres de dépôt de vapeur	10
Emballage de semi-conducteurs	2
Équipements de fabrication de semi-conducteurs	5
Essai thermique de dispositifs semi-condensateurs	5
Feuille de séparation pour le processus de collage par thermocompression de puces semi-conductrices	1
Fluide d'aspiration dans la pompe à vide	1
Fluides caloporteurs	25
Lithographie Nanoimprint	1
Nettoyage de plaquettes de silicium et gravure par plasma	54
Photolithographie	4
Utilisation de produits chimiques de haute pureté	1
Industrie électronique	123
Agent anti-goutte	2
Autres produits optiques	15
Batteries au lithium-ion	51
Composants électroniques	32
Fils et câbles	6
Fluides caloporteurs	25

⁴⁰ Le cas des PFAS dans les batteries est traité plus spécifiquement dans la section sur l'énergie. Il apparaît dans quelques tableaux de cette section, étant répertorié dans la base d'information, mais n'y fait pas l'objet de discussion spécifiques.

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Fluides de flottaison dans les gyroscopes	2
Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	6
Mousse de protection contre l'incendie	9
Nettoyage de composants électroniques	16
Piles à combustible PEM	25
Revêtement de composants électroniques	33
Solvant	14
Produits et composants semi-conducteurs	72
Adhésif, revêtement, lubrifiant	50
Fluoroélastomères	1
Photorésine	21
Plastiques	1

Tableau 61 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Methyl perfluoropropyl ether	375-03-1	9
Ethyl perfluorobutyl ether	163702-05-4	8
Methyl perfluorobutyl ether	163702-07-6	8
Methyl perfluoroisobutyl ether	163702-08-7	8
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	8
3-Ethoxy-1,1,1,2,3,4,4,5,5,6,6,6-dodecafluoro...	297730-93-9	7
Ethyl perfluoroisobutyl ether	163702-06-5	6
Perfluoropropane	76-19-7	6
Pentane, 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-	138495-42-8	5
Poly(vinylidene fluoride) (PVDF)	24937-79-9	5
Perfluorotributyl amine	311-89-7	5

4.4.12.2 Cartographie des usages

Le Tableau 62 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur de l'électronique et des semiconducteurs référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 62 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur de l'électronique et des semiconducteurs

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Centres de données (Datacenters)	Refroidissement par immersion	Fluides caloporteurs	Agent de transfert thermique	[1] ; [25] ; [26] ; [36] ; [77]
Industrie électronique	Solvants	Solvants pour les lubrifiants, revêtements, silicones, le nettoyage industriel et pour le post-traitement des articles imprimés en 3D	Solvant	[1] ; [25] ; [76] ; [77], [83]
	Nettoyage des composants électroniques	Nettoyage des optiques Élimination des particules et des ions Nettoyage de précision	Agent de séchage / rinçage Agent anti-goutte Liant	
	Joint d'étanchéité des composants électroniques : LCD, disque dur de serveurs...	Matériau résistant à la chaleur, à l'abrasion, aux huiles et aux produits chimiques	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [5] ; [25] ; [26] ; [29] ; [33] ; [55] ; [56] ; [77], [82] ; [83]
	Photolithographie et Lithographie : Générateurs de photoacides	Contrôle de la production d'acide fort lors de l'exposition à la lumière UV ⁴¹ Revêtements antireflets Revêtements de finition et couches d'étanchéité incorporées	Tensioactifs <i>Manque d'informations</i>	[1] ; [2] ; [25] ; [76] ; [77], [83]
	Photolithographie et Lithographie : Membranes	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	
	Photolithographie et Lithographie : Lithographie par nano-impression	<i>Manque d'informations</i>	Antiadhérent	
	Composants électroniques : Cartes de circuits imprimés, commutateurs, connecteurs, relais, résistances, condensateurs, transformateurs, inductances, circuits intégrés, dispositifs d'affichage, les automobiles, les	Revêtements hydrophobes, oléophobes inertes chimiquement, résistants à l'usure et aux rayures Revêtements antiadhésifs sur des dispositifs permettant d'empêcher la formation de poussière sur	Agent imperméabilisant Durcisseur	[1] ; [5] ; [25] ; [26] ; [33] ; [77], [82] ; [83]

⁴¹ La forte électronégativité de l'atome F dans la matrice chimique/résistante complexe permet de contrôler la production d'acide fort lors de l'exposition à la lumière UV

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	machines de jeu, diverses applications domestiques, les équipements mécaniques. Revêtement d'écrans tactiles et de divers appareils électroniques, y compris dans les téléphones intelligents	les composants électroniques (par exemple, les filtres à air) Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer une faible perte de signal	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Durcisseur Retardateur de flammes Isolant Agent antiadhésif Agent imperméabilisant	
	Composants électroniques : Systèmes micro-électromécaniques, laminés recouverts de cuivre, disques durs			
	Composants électroniques : Matière première pour les revêtements par polymérisation au plasma des composants et appareils électroniques afin de fournir une nanocouche protectrice			
	Composants électroniques : Circuits imprimés	Matériaux (revêtements et couches renforcées de fibres) isolants électriques, hydrophobes et oléophobes, inertes chimiquement, résistant à la chaleur, avec de bonnes performances diélectriques, une faible perte de signal, une bonne adhésion au cuivre et au produit laminé, et un faible indice de réfraction		[1] ; [5] ; [25] ; [26] ; [29] ; [33] ; [55] ; [56] ; [77] , [82] ; [83]
	Composants électroniques : Filtres de ventilation pour les composants électriques automobiles (unité de contrôle électronique, boîtier de la batterie, boîtier du substrat de contrôle du moteur, lampes et modules de lève-vitres électriques, etc) Filtres de ventilation pour les appareils ménagers tels que les brosses à dents électriques et les rasoirs lavables.	Matériaux perméables à l'air, résistants à la pression de l'eau, à la chaleur, aux produits chimiques, aux intempéries, avec répulsion des liquides et des propriétés anti-poussière		
	Composants électroniques : Membrane insonorisante pour téléphones portables et appareils photo numériques	Matériaux perméables à l'air, résistants à la pression de l'eau, avec répulsion des liquides et des propriétés acoustiques		
	Composants électroniques : Composants de commutateurs tactiles	Matériaux résistant à la chaleur, à la traction et à l'usure		

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Composants électroniques : Antennes et membranes pour téléphones portables	Matériaux hydrofuges avec des propriétés de réduction des pertes diélectriques, de prévention des pertes de signal, de tension de surface		
	Composants électroniques : Affichage à cristaux liquides LCD (Liquid Crystal Display) : écrans d'ordinateur, téléviseurs, unités de contrôle (appareils médicaux, voitures), ordinateurs portables, téléphones portables, tablettes...	Composants fournissant des cristaux liquides avec un moment dipolaire, sensibles à l'humidité		
	Composants électroniques : Diode électroluminescente organique (OLED) pour téléphones portables, tablettes, téléviseurs, moniteurs	Manque d'informations		
	Composants électroniques : Matériau pour le noyau et la gaine de fibres optiques (fibres optiques en polymère) pour systèmes de communication de données des véhicules (systèmes avancés d'aide à la conduite, ADAS, et véhicules autonomes)	Manque d'informations		
	Composants électroniques : Lentilles cylindriques pour petits équipements portables d'impression par scanner, y compris les lecteurs de codes-barres	Manque d'informations		
	Fils et câbles isolés dans les applications électriques, énergétiques et semi-conductrices (câbles de données/5G, câbles LAN, pièces automobiles, médicales, sous-marines, aérospatiales, production en salle blanche, etc.)	Isolants hydrophobes, oléophobes, légers, résistants aux hautes températures, aux UV, aux substances chimiques radiations et au feu Inertie électrique Enjeux de sécurité y compris contre le risque incendie		[1] ; [5] ; [25] ; [26] ; [29] ; [33] ; [55] ; [69] ; [77], [83]
	Matériaux employés en électronique : Résines photosensibles : Epoxy, masquage des boîtiers	Télomères résistants au feu, aux graisses, aux taches	Retardateurs de flamme Manque d'informations	[1]
	Matériaux employés en électronique : Polymères (polycarbonate, ABS...)	Manque d'informations	Retardateurs de flamme Manque d'informations	[1]

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Boîtiers électriques, connecteurs, appareils l'électronique grand public (mobiles, TV, ordinateurs portables), matériel informatique, les batteries automobiles	<i>Manque d'informations</i>	Agent anti-goutte	
Produits et composants semi-conducteurs	Adhésif, revêtement, lubrifiant	Assurer une lubrification à vie Protection de la surface sur laquelle le lubrifiant est utilisé Réduire les pertes par frottement Résistance à l'arc électrique	Agent lubrifiant Inhibiteur de corrosion Isolant	[1] ; [2] ; [12] ; [15] ; [17] ; [27] ; [33] ; [36] ; [55] ; [75] ; [76] ; [77] ; [83]
	Matériaux associés aux semi-conducteurs : Fluoroélastomères Photorésine : Plastiques	Résistance à une large gamme de températures Assurer une bonne stabilité à haute température Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Assurer une bonne hydrophobie Résistance à la graisse, aux taches, etc. Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie	Stabilisateur thermique Stabilisateur thermique Retardateur de flammes Agent imperméabilisant Agent antiadhésif Retardateur de flammes	
	Conditionnement avancé des semi-conducteurs : Encapsulation et interface thermique Adhésifs temporaires	Matériaux d'encapsulation et d'interface thermique Revêtement hydrophobe/emballages hermétiques pour assurer une bonne résistance à la thermo-oxydation Résistance à une large gamme de températures	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	
Fabrication de semi-conducteurs	Chambre de dépôt de vapeur	Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs	Inhibiteur de corrosion	
	Équipements divers de fabrication de semi-conducteurs	Améliorer la durabilité Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs Améliorer la sécurité contre les risques d'incendie Résistance à une large gamme de températures	Stabilisateur UV Inhibiteur de corrosion Retardateur de flammes Stabilisateur thermique	
	Test thermique des dispositifs semi-conducteurs (en ligne et en fin de ligne)	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	
	Feuille de séparation pour le processus de collage par thermocompression de puces semi-conductrices	Résistance à la traction	Durcisseur	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
		Résistance à une large gamme de températures	Stabilisateur thermique	
	Fluide d'aspiration dans pompes à vide	Manque d'informations	Manque d'informations	
	Systèmes de refroidissement	Refroidir les éléments électroniques pendant la fabrication	Agent de transfert de chaleur	
	Lithographie Nanoimprit	Manque d'informations	Manque d'informations	
	Photolithographie	Élimination sélective des oxydes métalliques Améliorer la durabilité contre les produits chimiques agressifs Assurer l'uniformité du revêtement avec un effet minimal sur les propriétés d'autres produits chimiques Assurer une faible perte de signal Protection contre l'eau Résistance à une large gamme de températures	Agents mouillants Inhibiteur de corrosion Isolant Générateurs de photoacides Agent imperméabilisant Stabilisateur thermique	
	Nettoyage de plaquettes de silicium et gravure par plasma	Assurer la combinaison de divers gaz et liquides pour effectuer un traitement avec un contrôle avancé et délicat	Solvant	
	Utilisation de produits chimiques de haute pureté	Manque d'informations	Manque d'informations	
Divers	Cf. section « Lubrifiants »			
	Cf. section « Gaz fluorés »			
	Cf. section « Mousses anti-incendies »			
	Cf. section « Energie »			

4.4.12.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 63 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : fluides caloporteurs) en fonction du type d'alternative envisagée. Ces informations sont développées dans le Tableau 64 présentant les alternatives identifiées.

Tableau 63 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Fabrication de semi-conducteurs	Fluides caloporteurs
	Industrie électronique	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
		Nettoyage de composants électroniques
Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Produits et composants semi-conducteurs	Solvant
		Adhésif, revêtement, lubrifiant
		Photorésine
Alternative au stade recherche et développement	Produits et composants semi-conducteurs	Plastiques
	Industrie électronique	Mousse de protection contre l'incendie
Incertain	Fabrication de semi-conducteurs	Fluides caloporteurs
	Industrie électronique	Photolithographie
		Batteries au lithium-ion
Pas d'alternative identifiée		Fluides caloporteurs
		Fluides de flottaison dans les gyroscopes
		Piles à combustible
Incertain	Fabrication de semi-conducteurs	Équipements de fabrication de semi-conducteurs
	Industrie électronique	Photolithographie
		Batteries au lithium-ion
Pas d'alternative identifiée		Composants électroniques
		Fils et câbles
Pas d'alternative identifiée	Fabrication de semi-conducteurs	Centres de données
		Chambres de dépôt de vapeur
		Emballage de semi-conducteurs
Pas d'alternative identifiée		Essai thermique de dispositifs semi-condensateurs
		Feuille de séparation pour le processus de collage par thermocompression de puces semi-conductrices
Pas d'alternative identifiée		
		Fluide d'aspiration dans la pompe à vide
		Lithographie Nanoimprim
Pas d'alternative identifiée		Nettoyage de plaquettes de silicium et gravure par plasma
		Utilisation de produits chimiques de haute pureté
Pas d'alternative identifiée	Industrie électronique	Agent anti-goutte
		Autres produits optiques
		Revêtement de composants électroniques
Pas d'alternative identifiée	Produits et composants semi-conducteurs	Fluoroélastomères

Tableau 64 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur de l'électronique et des semiconducteurs

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Produits et composants semi-conducteurs	Adhésif, revêtement, lubrifiant	Alternative disponible	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS2) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE)
	Photorésine Plastiques	Alternative disponible Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Résines photosensibles KrF sans PFOS ni PFAS Retardateur de flamme bromé Retardateur de flamme chloré
Fabrication de semi-conducteurs	Équipements de fabrication de semi-conducteurs	Manque d'informations	Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK)
	Fluides caloporteurs	Alternative disponible	Isobutane n-butane Propane réfrigérant NH3
		Alternative au stade recherche et développement	Alternative sans fluor Huile minérale Huiles naturelles Huiles synthétiques
	Photolithographie	Alternative au stade recherche et développement Manque d'informations	Dépôt par couche atomique/gravure par couche atomique Hétéroaromatique PAG PAG aromatique Disulfure de molybdène (MoS2) Graisses à base d'hydrocarbures Graphite
Industrie électronique	Batteries au lithium-ion	Alternative au stade recherche et développement ou situation incertaine	Batteries à électrolyte solide Batteries au plomb
	Composants électroniques	Manque d'informations	Élastomères d'hydrocarbures Groupe cyano- au lieu de CF3

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
	Fils et câbles	Manque d'informations	Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Matériaux à base de céramique Matériaux à base de silicone Polychlorure de vinyle (PVC) Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK)
	Fluides caloporteurs	Alternative au stade recherche et développement	Huile minérale Huiles naturelles Huiles synthétiques Isobutane n-butane Propane
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Alternative disponible	Huile minérale Huiles naturelles Huiles synthétiques Isobutane n-butane Propane
	Mousse de protection contre l'incendie	Alternative disponible mais pertinence à démontrer	Agents chimiques secs Dioxyde de carbone Eau et solutions salines aqueuses Gaz inertes (argon) Gaz inertes (azote) Générateurs de gaz inerte Technologie des particules solides fines
	Nettoyage de composants électroniques Solvants	Alternatives disponibles	Technologies de brouillard d'eau Alcool isopropylique (IPA) Bromure de n-propyle (nPB) Dichlorométhane (DCM, chlorure de méthylène) Fluides supercritiques - CO ₂ Hydrocarbures (acétone) Hydrocarbures (Benzène) Hydrocarbures (Heptane) Hydrocarbures (Hexane)

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Méthodes de nettoyage manuel - aérosols, brosse, spray à gâchette, immersion dans un liquide, nettoyage ponctuel, lingettes Nettoyage au plasma Nettoyage semi-aqueux / aqueux Pas de flux propres Perchloroéthylène (PER) Siloxanes méthyliques volatils Trans-1,2-dichloroéthylène Trichloréthylène (TCE) Ultrasonic

4.4.12.4 Synthèse bibliographique

Les fluoropolymères et PFAS non-polymères sont utilisés dans un grand nombre d'applications de l'industrie électronique et des semiconducteurs du fait de leurs nombreuses propriétés dont, parmi d'autres, la résistance aux températures élevées, la rigidité diélectrique, l'hydrophobicité. Ils peuvent être présents dans les composants électroniques des produits finaux, ou utilisés au cours de leur fabrication.

Concernant les semiconducteurs, les PFAS semblent très présents dans leur processus de fabrication. Ils sont notamment employés dans plusieurs étapes du processus de photolithographie : des fluoropolymères sont employés dans les résines photosensibles, et des PFAAs (comme le PFBS, substitut du PFOS) sont utilisés comme générateur de photoacide, comme additifs dans les solutions de développement, et dans les processus de gravure. A la lecture du dossier de restriction et d'autres rapports, il semble que l'industrie des semiconducteurs s'appuie aujourd'hui largement sur l'utilisation de PFAS, que des substituts soient possibles pour quelques processus, que des efforts de recherche sont déployés pour d'autres, mais il est d'une manière générale très difficile de conclure sur la disponibilité d'alternatives. Le dossier de restriction préconise d'envisager les dérogations à l'échelle des processus plutôt que du secteur en général.

Les PFAS sont employés dans un très grand nombre de composants électriques : films diélectriques dans les condensateurs, films PVDF dans des matériaux piézoélectriques pour l'industrie audio, au sein des écrans LCD et de leurs revêtements, pour le revêtement des écrans tactiles, couche isolante dans les câbles électriques, panneaux arrière dans les panneaux photovoltaïques, au sein des matériaux employés pour les circuits imprimés pour leurs propriétés ignifuges et diélectriques, etc.

Enfin les PFAS peuvent être employés dans le processus de fabrication de composants électriques. On peut en trouver dans les fluides caloporteurs employés pour contrôler les températures pendant la fabrication de divers composants. Ils sont présents dans des produits de nettoyage ou divers types de solvants.

La disponibilité d'alternatives sans PFAS pour toutes ces applications semble généralement établie ou incertaine, et en l'état actuel du dossier de restriction aucune dérogation n'est envisagée.

Comme pour nombre d'autres secteurs, l'évaluation de la disponibilité doit être considérée avec précaution. Les alternatives potentielles identifiées répondent à des fonctions techniques identiques à celles offertes par les PFAS ; reste que leur applicabilité dans des contextes spécifiques doit être éprouvée et que l'évaluation des risques auxquelles elles pourraient être associées n'est généralement pas disponible. D'une manière générale, une étude (complexe en raison du très grand nombre d'applications) discriminant précisément i) les solutions immédiatement disponibles (condensateurs, produits de nettoyage, etc.), ii) celles pour lesquelles la recherche est avancée, iii) les alternatives moins performantes qui ne sont pas utilisées en l'état actuel du marché mais pourraient être acceptables, et iv) les applications pour lesquelles aucune solution alternative ne semble envisageable, reste à mener.

4.4.13 Les produits cosmétiques

Les PFAS peuvent être utilisés intentionnellement dans les cosmétiques à différentes fins (comme émulsifiants, stabilisants, tensioactifs, filmogènes, etc.) et dans diverses catégories de produits : cosmétiques décoratifs, produits de soin de la peau, de soin capillaire et de toilette.

Il existe au niveau européen plusieurs bases de données portant sur les produits cosmétiques (CosIng, Kemiluppen, and CosmEthics) qui ont pu être consultées dans le cadre de l'élaboration du dossier de restriction. En 2020, environ 1% des produits étaient identifiés comme incluant des PFAS, dont environ 4% des cosmétiques décoratifs, et moins d'1% des autres catégories de produits citées.

Le dossier de restriction parvient à une estimation d'utilisation de PFAS dans les produits comprise entre 0 et 60 tonnes environ en Europe. Les quantités sont plus importantes pour ce qui concerne la fabrication des produits cosmétiques : le dossier fait état d'environ 400 tonnes de TFA employés pour la fabrication de peptides employés dans les cosmétiques.

Il faut noter que l'industrie cosmétique s'est engagée dans la substitution des PFAS dans les années récentes. Le projet de restriction des microplastiques intentionnels adopté en 2023 contraint par exemple l'usage de fluoropolymères. Les données présentées dans ce rapport peuvent donc être partiellement obsolètes par rapport à l'état des usages actuels.

4.4.13.1 Substances employées

Le Tableau 65 présente de manière synthétique les données disponibles dans la base d'information concernant les diverses applications et le nombre de substances associées. Le Tableau 66 présente les substances associées au plus grand nombre d'applications et va dans le sens des informations présentes dans le dossier de restriction, identifiant le PTFE comme PFAS le plus couramment utilisé sous forme de microbilles ou micropoudres. Les autres substances sont des PFAAs.

Tableau 65 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des cosmétiques (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Produits cosmétiques	103
Décoration	29
Baume à lèvres/rouge à lèvres/gloss	11
Blush/highlighter	1
Concealer/Corrector	15
Crayon pour les yeux/Eyelineur pour les yeux	3
Crème pour les yeux/Ombre à paupières	15
Inconnu	7
Maquillage solaire	2
Mascara/cils	1
Poudre	5
Primaire/fixateur	2
Produit de manucure	9
Produits pour les sourcils	2
Surligneur	10
Généralités	48
Cosmétiques et produits de soins personnels en général	48
Produits d'entretien	9
Crème à raser/mousse à raser/gel à raser	2
Démaquillant/ nettoyant pour le visage	1
Savon en barre	6
Soins capillaires	33
Anti-frizz	1
Crèmes, rinçages et après-shampooings pour cheveux	12

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Inconnu	3
Shampooing pour cheveux	20
Spray/mousse pour cheveux	3
Soins de la peau	28
Crème anti-âge	3
Crème BB/CC, fond de teint	16
Crème pour le visage	2
Crème solaire	11
Crème/lotion	2
Humidificateur	4
Inconnu	5
Lotion pour le corps/crème pour le corps/huile pour le corps	14
Masque	4
Récurage/pelage	4

Tableau 66 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	13
Polysiloxanes, di-Me, Me...	259725-95-6	12
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	10
Perfluorononanoic acid (PFNA)	375-95-1	10
Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA)	376-06-7	10
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	2058-94-8	9
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	9
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	307-55-1	9
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	9
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	335-76-2	9
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	72629-94-8	9

4.4.13.2 Cartographie des usages

Le Tableau 67 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des cosmétiques en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 67 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des cosmétiques

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Décoration/Maquillage	Baume à lèvres/rouge à lèvres/gloss	Assurer une bonne combinaison d'ingrédients pour la formulation Utilisation dans la charge pour assurer une bonne structure du produit Améliorer l'apparence du produit Améliorer les conditions d'hygiène	Emulsifiants Agents antistatiques Stabilisants Tensioactif Agents filmogènes Régulateurs de viscosité Solvant Liant	[1] ; [19] ; [29] ; [36] ; [42] ; [51] ; [56] ; [72] , [83]
	Crème pour les yeux/Ombre à paupières			
	Blush/highlighter			
	Concealer/Corrector			
	Crayon pour les yeux/Eyelineur pour les yeux			
	Maquillage solaire			
	Mascara/cils			
	Poudre			
	Produit de manucure			
	Produits pour les sourcils			
	Surigneur			
	Primaire/fixateur			
Produits de soin	Crème à raser/mousse à raser/gel à raser			[83]
	Démaquillant/ nettoyant pour le visage			[1] ; [19] ; [27] ; [29] ; [36] ; [42] ; [51] ; [56] ; [72] , [83]
	Savon en barre			
Soins capillaires	Anti-frizz			
	Crèmes, rinçages et après-shampooings pour cheveux			
	Démêlant			
	Shampooing pour cheveux			
Soins de la peau	Crème anti-âge			[1] ; [4] ; [13] ; [15] ; [19] ; [27] ; [28] ; [29] ; [33] ; [36] ; [42] ; [51] ; [56] ; [72] ; [74] ; [81] , [83]
	Crème BB/CC, fond de teint			
	Crème pour le visage			
	Crème solaire			

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Crème/lotion			
	Lotion pour le corps/ crème pour le corps/ huile pour le corps			
	Masque			
	Récurage/pelage			
Autres usages cosmétiques	Spray/mousse	Expulser le contenu de son récipient	Propulseurs, non-moteur (agents gonflants)	[83]
	Parfums	Manque d'informations	Manque d'informations	[1] ; [42] ; [51]
	Vernis à ongles	Manque d'informations	Manque d'informations	[29]

4.4.13.3 Synthèse bibliographique

Les PFAS sont utilisés dans de nombreuses applications du secteur des produits cosmétiques, notamment dans des émulsifiants, antistatiques, stabilisants, tensioactifs, filmogènes, régulateurs de viscosité.

Le dossier de restriction indique que selon la littérature et les informations fournies par les parties prenantes lors des consultations publiques, l'utilisation annuelle des PFAS serait comprise entre 0,028 et 64,2 t en Europe.

Le dossier de restriction conclut à la disponibilité d'alternatives pour l'ensemble des usages de PFAS en lien avec le secteur des produits cosmétiques, avec un délai lié à la nécessité dans certains cas de reformuler les produits cosmétiques concernés.

Cependant, les alternatives aux PFAS sont en général largement disponibles sur le marché et elles sont techniquement et économiquement viables avec un fort potentiel de substitution.

Produits cosmétiques contenant des PFAS

D'après les informations du dossier de restriction REACH sur les PFAS, 1,4 % du total des produits cosmétiques répertoriés dans les bases d'information européennes sur ce secteur contiennent des PFAS, c'est-à-dire qu'environ 7 300 produits, et ceci en août 2020). Ce nombre a probablement baissé depuis 2020, étant donné l'activité de substitution importante dans ce secteur.

En effet, plusieurs marques ont déclaré que les PFAS avaient été déjà progressivement éliminés de leurs produits, ce qui indique effectivement que des alternatives sont disponibles, et techniquement et économiquement réalisables.

En tant que tel, le SEAC approuve l'évaluation réalisée par le déposant du dossier ainsi que sa conclusion selon laquelle, à l'entrée en vigueur de la restriction proposée, le potentiel de substitution des PFAS dans les produits cosmétiques est élevé.

Utilisation d'acide trifluoroacétique (TFA) comme intermédiaire de synthèse d'ingrédients cosmétiques

Le TFA est utilisé dans la synthèse de peptides, qui sont des ingrédients cosmétiques, et de ce fait, il peut apparaître en tant qu'impureté dans le produit final. Les peptides synthétiques sont principalement utilisés dans les soins du visage et du corps sans rinçage, avec des fonctions anti-âge, anti-rides et de rétablissement de la fonction barrière de la peau. Trois solutions sont envisageables pour se passer du TFA dans la synthèse des peptides : le remplacer dans les méthodes de synthèse, utiliser une technique de production différente appelée LPPS (procédé en phase liquide au lieu de solide – SPPS), ou remplacer complètement les peptides en tant qu'ingrédients cosmétiques. Cependant, il n'est pas clair si des alternatives appropriées sont disponibles à ce jour pour ces méthodes.

4.4.14 Les mélanges et produits de consommation courante (SU0)

Outre divers produits, dont les cosmétiques, déjà décrits dans les précédentes sections, l'usage de PFAS est documenté dans un grand nombre de produits à destination des consommateurs. Il s'agit entre autres de produits nettoyants et de traitements divers : liquides vaisselles, nettoyants pour le verre, le métal, les tapis, cires et polishes pour les meubles ou les automobiles, décapants pour le sol, traitements anti-pluie pour pare-brise ou antibuée pour les lunettes. Des lubrifiants pour serrures, chaînes de vélos ou diverses applications mécaniques domestiques sont également mentionnés. L'usage comme lubrifiant est également documenté dans le domaine de la musique (touches de piano, instruments à cordes) où les fluoropolymères trouvent d'autres applications encore, notamment pour la fabrication des cordes de harpes, guitare, violons, etc⁴². Ces fluoropolymères sont également utilisés pour la fabrication de fils de pêche.

Il convient toutefois de modérer le constat d'une profusion d'usages possibles par un i) niveau élevé d'incertitude quant aux volumes effectivement employés, ii) une large panoplie d'alternatives sans PFAS d'ores et déjà disponibles sur le marché pour la plupart des usages.

Les volumes évalués dans le cadre du projet de restriction sont de l'ordre de quelques dizaines de tonnes par an en Europe⁴³. Deux sources de données robustes sont présentées : les volumes de PFAS employés dans les farts de ski sont estimés à 1.6 tonne/an en Europe sur la base des volumes de productions et des concentrations de PFAS dans les produits ; et ceux de PFAS dans les produits de nettoyage estimés à 20 tonnes/an à partir des données issues de la base de données SPIN dans les pays nordiques. Toutes les autres informations sont très parcellaires.

4.4.14.1 Substances employées

Le Tableau 68 présente un panorama synthétique des usages documentés qui sont généralement associés à un nombre élevé de substances possiblement associées à chacun d'entre eux.

Le Tableau 69 rend compte des substances les plus présentes dans la base d'information des usages pour ce secteur. Le PFOS et le PFOA y apparaissent toutefois en bonne place alors que leurs usages sont largement restreints aujourd'hui. Il est donc nécessaire de considérer ces informations avec prudence. D'un point de vue qualitatif, le dossier de restriction identifie les alcools et éthoxylates de fluorotélomères, les acides perfluoroalkylcarboxyliques, les perfluoroalkylethers, les acétates de perfluoroalcanesulfonamide et les polymères tels que le PTFE, comme les principales substances employées, notamment dans les mélanges destinés aux consommateurs.

Le PVDF, utilisé dans des fils de pêche et instruments de musique, représente le fluoropolymère le plus employé en tonnages.

Les PFAS les plus utilisés dans les farts de ski sont les perfluoroalcanes et les alcanes semi-fluorés.

⁴² D'autres applications grand public sont traitées ailleurs dans ce rapport, notamment les instruments de cuisson non adhésifs, ou les cosmétiques.

⁴³ De 21 à 30 tonnes pour les mélanges, de 10 à 100 tonnes pour les produits.

Tableau 68 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans les mélanges et produits de consommation (source : [83])

Étiquettes de lignes	Nombre de substances PFAS associées
Mélanges pour consommateurs	324
Autres applications	86
Agent antibuée	84
Instruments de musique	2
Encres d'imprimerie	103
Impression lithographique	7
Têtes d'enregistrement à encre	1
Toner et encres d'imprimantes	96
Lubrifiants	18
Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)	18
Nettoyants	75
Nettoyage de dispositifs optiques	1
Nettoyants pour le verre, le métal, la céramique, le plastique, les tapis et les tissus d'ameublement	73
Produits de lavage de la vaisselle / produits de rinçage	6
Produits de nettoyage à sec	7
Peintures	29
Peintures en général	29
Produits d'entretien textiles	18
Produit d'entretien de tapis pour le marché de l'après-vente	18
Traitement de surface	75
Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)	41
Fart de ski	44
Traitement des pare-brise	4

Tableau 69 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
6:2 Fluorotelomer alcohol	647-42-7	9
8:2 Fluorotelomer alcohol	678-39-7	9
10:2 Fluorotelomer alcohol	865-86-1	6
Polytetrafluoroethylene	9002-84-0	6
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	1763-23-1	5
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	5
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	375-22-4	5
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	2706-90-3	4
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	307-24-4	4
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	375-85-9	4

4.4.14.2 Cartographie des usages

Le Tableau 70 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des mélanges et produits à destination des consommateurs en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions apportées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 70 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans les mélanges et produits de consommation courante

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Encres d'imprimerie	Impression lithographique	Manque d'informations	Manque d'informations	[83]
	Têtes d'enregistrement à encre	Assurer une bonne qualité d'impression	Agent mouillant	
	Toner et encres d'imprimantes	Empêcher l'encre de couler après l'impression	Agent imperméabilisant	
Lubrifiants	Sprays pour portes, serrures, chaînes de vélo, de moto	Lubrifiants	Cf section « Lubrifiants »	[56] ; [71] ; [74] ; [78] ; [81]
	Instruments de musique : - Touches de piano - Cordes d'instruments à corde	Lubrifiants Améliorer la durabilité	Agent lubrifiant	[1] ; [83]
Nettoyants	Nettoyage de dispositifs optiques	Faciliter le nettoyage	Agent imperméabilisant	[1] ; [4] ; [15] ; [17] ; [21] ; [26] ; [27] ; [28] ; [29] ; [36] ; [55] ; [56] ; [71] ; [74] ; [76] ; [78] ; [81] , [83]
	Spray antibuée pour vitres	Favoriser l'écoulement rapide de la solution de rinçage	Tensioactifs	
	Produits de nettoyage pour verre, métal, céramique, textiles (tapis et tissus d'ameublement)		Agent antibuée	
	Produits de lavage de la vaisselle / produits de rinçage			
	Lave-glace automobile			
	Décapants pour sols			
	Produits de nettoyage à sec	Fournir des propriétés d'imperméabilisation	Agent imperméabilisant	
Peintures	Peintures en général	Assurer un bon nivellement	Agent mouillant	[83]
		Assurer une bonne qualité de peinture		
Produits d'entretien textiles	Produit d'entretien de tapis pour le marché de l'après-vente	Faciliter le nettoyage	Agent antitache	[55] ; [71] ; [74] ; [78] ; [81] , [83]
	Sprays hydrofuges pour vêtements et chaussures	Traitement pour rendre les textiles résistants à l'eau et/ou aux graisses et/ou aux taches	Agent imperméabilisant	
Traitement de surface	Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)	Esthétique Agents d'égalisation	Modificateurs de surface Agent imperméabilisant	[4] ; [83]
	Cires et encaustiques (pour meubles, sols et voitures)	Faciliter le nettoyage	Tensioactifs	
		Favoriser l'écoulement rapide de la solution de rinçage	Agent de mouillage	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Fart de ski	Améliorer la glisse des skis sur la neige, ce qui augmente la vitesse	Agent mouillant	[1] ; [83]
Pharmacie	Soin dentaire (fil dentaire, nettoyant pour prothèses dentaires)	Manque d'informations	Manque d'informations	[29] ; [36] ; [56] ; [74] ; [81]
Cosmétiques	Articles de toilette	Emulsifiants, agents antistatiques, stabilisants, surfactants, agents filmogènes, régulateurs de viscosité et solvants		[1] ; [42] ; [51]
Fils et cordes	Instruments de musique : cordes de divers instruments à corde	Améliorer la durabilité Sonorité particulière		[1] ; [83]
	Fil de pêche	Améliorer la durabilité Indice de réfraction proche de celui de l'eau (donc invisible)		

4.4.14.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 71 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information et doit être considéré comme indicatif. Une analyse plus fine des applications pour lesquelles il n'y a pas d'alternative identifiée devrait être menée car certains résultats semblent surprenants, notamment en ce qui concerne les nettoyeurs à destination des consommateurs. Les informations sur les alternatives disponibles sont développées dans le Tableau 72.

Tableau 71 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Autres applications	Instruments de musique
	Lubrifiants	Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)
	Nettoyants	Produits de lavage de la vaisselle / produits de rinçage
	Produits d'entretien textiles	Produit d'entretien de tapis pour le marché de l'après-vente
Alternative au stade recherche et développement	Produits d'entretien	Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)
		Fart de ski
		Traitement des pare-brise
	Lubrifiants	Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)
Pas d'alternative identifiée	Autres applications	Traitement des pare-brise
	Encres d'imprimerie	Lames de rasoir
	Nettoyants / Produits d'entretien	Agent antibuée
	Peintures	Impression lithographique
Manque d'informations	Autres applications	Têtes d'enregistrement à encre
		Toner et encres d'imprimantes
		Nettoyage de dispositifs optiques
		Nettoyants pour le verre, le métal, la céramique, le plastique, les tapis et les tissus d'ameublement
		Produits de nettoyage à sec
		Peintures en général
		Instruments de musique

Tableau 72 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des mélanges et produits de consommation courante

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Lubrifiants	Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)	Alternative disponible	Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Disulfure de molybdène (MoS ₂) Graphène (modifié) Graphite Laque dorée phénolique-méla mine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS ₂ (TUNGSTEN DISULPHIDE)
Nettoyants	Produits de lavage de la vaisselle / produits de rinçage	Alternative disponible	Lauryl glucoside Lauryl sulfate de sodium
Produits d'entretien textiles	Produit d'entretien de tapis pour le marché de l'après-vente	Alternative disponible	Caprylyl glucoside Dioxyde de silicium Fibres antitaches comme le polypropylène Fibres antitaches comme le polytriméthylène téréphtalate Fibres résistantes aux taches comme la laine Fibres résistantes aux taches comme le polyéthylène téréphtalate (PET) Myristyl glucoside
Traitement de surface	Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)	Alternative disponible	Agents de surface non ioniques ou anioniques Cire de carnauba Hydrocarbures à base d'alcyne diol Tensioactif Gemini à base de siloxane Tensioactif Gemini à base de siloxane
	Fart de ski Traitement des pare-brise	Alternative au stade recherche et développement Alternative disponible Alternative disponible	Copolymère silicone-polyalkyle non ionique modifié par des amines Dioctyl sulfosuccinate de sodium Polydiméthylsiloxanes
		Alternative au stade recherche et développement	Alcool alkoxyolate linéaire Des polyols, y compris un polyéther-diol fluoré, peuvent être ajoutés, mais il est possible d'ajouter des glycols à la place.

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
			Éther alkylique d'amine éthoxylée Éthoxylate d'alcool décyltridécyl ramifié Éthoxylate d'alcool primaire ramifié ou linéaire Éthoxylate d'alcool secondaire Éthoxylate d'alkyle aminé ramifié ou linéaire Éthoxylate d'alkylphénol ramifié ou linéaire
Autres applications	Instruments de musique	Alternative disponible	Cordes en boyau Cordes en nylon Cordes métalliques tressées Graphite Huile minérale blanche
		Manque d'informations	Cordes sans revêtement

4.4.14.4 Synthèse bibliographique

Les usages dans des produits destinés au grand public sont très variés, et nous résumons ci-après l'état de la connaissance et des possibilités de substitution pour une partie d'entre eux, mais de façon non-exhaustive.

Farts de ski

La substitution est déjà très avancée avec une part de marché des alternatives (cires sans PFAS, design alternatif des skis) au moins égale à 70% en Europe, et avec l'engagement des principales fédérations sportives internationales.

Nettoyants pour le verre, le métal, la céramique, les tapis et les tissus d'ameublement

Les informations accessibles ne permettent pas toujours de bien distinguer les produits destinés aux professionnels de ceux destinés aux particuliers, et il est d'ailleurs possible que des particuliers achètent parfois sur internet des produits contenant des PFAS et dont les performances ne leur sont pas nécessaires. En outre, les agents tensioactifs à base de siloxane peuvent atteindre des tensions de surface extrêmement faibles si nécessaire (comme pour les PFAS). De façon générale, une grande variété de produits de nettoyage ne contenant pas de PFAS sont facilement disponibles (détaillants en ligne et dans les magasins) et détiennent une part de marché importante. En ce qui concerne l'entretien des moquettes pour les particuliers, plusieurs alternatives aux PFAS sont déjà sur le marché. Il s'agit notamment de produits contenant du dioxyde de silicium et de polymères anioniques non fluorés dans les produits de nettoyage eux-mêmes. L'utilisation de fibres intrinsèquement résistantes aux taches (par exemple, la laine, le polypropylène) pour les tapis est également une option.

Cires et encaustiques (pour les meubles, les sols et les voitures, par exemple)

Dans l'ensemble, les informations disponibles (notamment celles rassemblées dans le cadre de la restriction REACH) montrent l'existence d'alternatives. Parmi ces alternatives, on peut mentionner celles présentées dans une étude de l'Université de Berkeley aux USA : Rhamnolipides, acides aminés, siloxanes, cires végétales (par exemple, cire de carnauba pour les voitures), etc.

Produits de lavage de la vaisselle, Traitements de pare-brise pour automobiles et liquides d'essuie-glace, fils pour cannes à pêche

Il existe une offre importante et déjà utilisée pour des alternatives sans PFAS. Pour les fils pour cannes à pêche, les alternatives sont notamment le nylon et le PET.

Instruments à cordes

Les PFAS peuvent être utilisés comme matériau (PVDF) ou lubrifiant pour les cordes des instruments dits « à corde ». L'utilisation de cordes en PVDF semble très répandue dans le cas des harpes.

Pour cet usage, des alternatives sont disponibles : d'autres matériaux de cordes sont disponibles (par exemple, cordes en nylon, boyau, fils enroulés en métal), et d'autres lubrifiants (poudre de graphite). Toutefois la dimension culturelle du niveau de performances rend difficile de savoir si ces alternatives peuvent satisfaire toutes les exigences dans ce secteur particulier.

Des lubrifiants pouvant contenir du PTFE sont utilisés pour le revêtement des touches de piano, mais la réalité et la fonction exacte, aussi bien que l'existence et la performance d'alternatives sont très peu voire non documentées.

4.4.15 Les dispositifs médicaux

Les propriétés des PFAS telles que la résistance à la température, la rigidité diélectrique, la résistance chimique, l'imperméabilité à l'huile, l'imperméabilité à l'eau, les propriétés de lubrification et de biocompatibilité en font des substances particulièrement appropriées pour les dispositifs médicaux pour lesquels il est nécessaire de pouvoir garantir des niveaux d'exigence élevés en matière de propreté, de stabilité chimique ou de résistance thermique.

Les applications inventoriées dans le cadre du projet de restriction incluent notamment :

- Les dispositifs médicaux implantables à base de fluoropolymères
- Les textiles médicaux incluant certains pansements ou les filets de réparation de hernie
- Les tubes et cathéters
- Divers revêtements de dispositifs en métal (stents métalliques, agrafes), en plastique ou en élastomères)
- Les lentilles ophtalmiques qui disposent de revêtements à base de PFAS les rendant plus performantes et confortables, faciles à nettoyer, hydrophobes, oléophobes et résistantes aux rayures
- Les gaz propulseurs dans les inhalateurs-doseurs, l'emballage et le conditionnement de médicaments
- Les membranes de systèmes de ventilation utilisées dans des dispositifs médicaux
- Des gaz de stérilisation, des agents de nettoyage et de transfert de chaleur

Le Tableau 73 présente un inventaire synthétique des applications inventoriées et du nombre de substances PFAS associées. Selon le dossier de restriction, les usages actuels représenteraient environ 56 kt/an de PFAS, avec une forte croissance prévisible (en l'absence de restriction).

Comme cela a déjà été mentionné par ailleurs dans ce rapport, les PFAS sont par utilisés dans l'industrie pharmaceutique et vétérinaires en tant qu'intermédiaires et auxiliaires de synthèses, et dans de nombreux équipements industriels, et en tant que substances actives. Ce dernier cas est traité dans la section 4.4.16.

Tableau 73 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des produits médicaux (source : [83])

Étiquettes de lignes	Nombre de substances
Produits médicaux	311
Applications pour la vision	144
Autres dispositifs optiques	36
Chirurgie du décollement de la rétine et vitréorétinopathie proliférative	84
Lentilles ophtalmiques	9
Résine pour matériaux optiques (par exemple fibres optiques)	16
Dispositifs médicaux	76
Composants électroniques	36
Dispositifs médicaux implantables	2
Emballage de solutions ophtalmiques	1
Fils et câbles	6
Inhalateurs doseurs	36
Membranes utilisées pour la ventilation des dispositifs médicaux	4

Étiquettes de lignes	Nombre de substances
Fluides d'ingénierie	38
Nettoyage	38
Solvants et lubrifiants	12
Lubrifiants et additifs	19
Équipements hospitaliers	19
Textiles médicaux	79
Par exemple, les draps chirurgicaux, les blouses, les rideaux	79
Traitements	27
Dispersants dans les aérosols autpropulsés Produits pharmaceutiques	10
Emballage de produits pharmaceutiques sensibles à l'humidité	1
Produits de traitement des plaies	4
Solvants dans les produits pharmaceutiques	3
Supplément à la transfusion sanguine conventionnelle et au sang artificiel et perfusion d'organes isolés	10
Tubes et cathéters	3

4.4.15.1 Substances employées

Comme pour les sections précédentes, le Tableau 74 répertorie les PFAS associés au plus grand nombre d'applications dans la base d'information. Le PTFE est néanmoins le plus cité.

Dans le détail :

- Le dossier de restriction estime que le volume de fluoropolymères employés dans ce secteur est de l'ordre de 3 à 12 kt/an, la majorité étant du PTFE et les suivants étant les FEP, PVDF, PFA. Les applications concernent tous les usages mentionnés en introduction en dehors des gaz propulseurs, qui sont des HFC.
- Les fluorotélomères sont utilisés pour leurs propriétés de résistance à la contamination dans les textiles médicaux, notamment les masques, blouses et champs chirurgicaux. Les quantités utilisées ne font pas l'objet d'estimations au niveau national ou européen.
- Des gaz fluorés sont employés par an pour les applications dans les inhalateurs, et dans certains process industriels en lien avec le secteur médical⁴⁴.
- Enfin, des quantités supérieures à 800 tonnes/an de PFAA (ou précurseurs de PFAA) employées comme surfactants sont estimées au niveau européen.

Les estimations chiffrées reposent sur des données jugées très parcellaires et le dossier de restriction justifie le manque de données par le fait que les chaînes d'approvisionnement dans le secteur médical sont longues et complexes. Les données sur les volumes manquent en particulier pour les PFAS utilisés dans la production de dispositifs médicaux, de fluides techniques, de produits de diagnostic in vitro et d'équipements d'analyse. L'acide trifluoroacétique (TFA), utilisé dans les processus d'analyse (chromatographie) est notamment concerné par ce manque de données.

Tableau 74 : Substances PFAS étant le plus citées dans ce secteur (source : [83])

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
Perfluorotributylamine	311-89-7	6
Perfluorotripropylamine (perfluamine)	338-83-0	5
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	9002-84-0	5

⁴⁴ Le cas de gaz employés pour le transfert de chaleur dans les applications laser dans le milieu médical est cité plusieurs fois dans le dossier de restriction, mais le reste des applications est peu explicite. Il est probable que les applications concernent d'une manière générale la régulation thermique.

Nom de la substance	Numéro CAS	Nombre d'occurrences
1,1,1,2,2,3,4,5,5,5- Decafluoropentane	138495-42-8	4
1-Ethoxy-nonafluorobutane	163702-05-4	4
Heptane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-6-methyl-	212957-45-4	4
Nonane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-tridecafluoro-8-methyl-	212957-49-8	4
Octane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-7-methyl-	212957-52-3	4
Decane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-tridecafluoro-9-methyl-	212957-55-6	4
Perfluorodecalin	306-94-5	4
Perfluoropropane	76-19-7	4

4.4.15.2 Cartographie des usages

Le Tableau 75 présente un panorama général des usages répertoriés des PFAS dans le secteur des appareils médicaux en référençant les sous-usages, les applications au sein de ces sous-usages, les services rendus et fonctions portées par les PFAS. Des sources bibliographiques portant sur les usages spécifiques et sur les alternatives sont fournies.

Tableau 75 : Panorama des sous-secteurs d'usage, applications, services attendus, fonctions d'usage et fonction techniques des PFAS employés dans le secteur des produits médicaux

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
Applications ophtalmiques	Lentilles ophtalmiques	Revêtements hydrophobes, oléophobes et résistants aux rayures pour assurer une grande propreté du produit	Durcisseur Agent antiadhésif Agent imperméabilisant	[1] ; [36] , [83]
	Chirurgie du décollement de la rétine et vitréorétinopathie proliférative	<i>Manque d'informations</i>	<i>Manque d'informations</i>	
	Autres dispositifs optiques			
	Emballage de solutions ophtalmiques	Empêcher le produit d'adhérer à l'emballage	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Agent antiadhésif Agent imperméabilisant	
Dispositifs médicaux	Divers dispositifs / pièces de dispositifs médicaux : Cathéters, stents métalliques, ballons de cathéters, pistons, bouchons de pistons, protections d'aiguilles, membranes, aiguilles hypodermiques, lames chirurgicales et de coupe, poches de sang, filtres et tubes en PVC...	Revêtements qui limitent la capacité des bactéries et autres agents infectieux à adhérer à sa surface et/ou qui empêchent les composés de s'infiltrer dans le produit pharmaceutique	Agent antiadhésif Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique	[1] ; [36] , [83]
	Appareils de dialyse rénale Instruments d'immunodiagnostic : Filtres, tubes, joints (dont joints toriques), garnitures			
	Implants médicaux : Cathéters épiduraux, pacemakers, vaisseaux sanguins artificiels, prothèses dentaires, implants cochléaires, implants mammaires, implants de hanche, prothèses rétinienne...	Matériaux inertes chimiquement Réduire la friction de l'implant Augmenter la durée de vie du composant en réduisant le risque de défaillance Assurer une grande propreté du produit (sécurité microbiologique/sanitaire)		[1] ; [29] ; [36] ; [55] ; [83]
	Equipements électroniques	Se référer à la section « Electronique et semi-conducteurs »		[1] ; [21] ; [36] ; [55] ;
	Inhalateurs-doseurs (MDI) pour traiter l'asthme, les maladies pulmonaires obstructives chroniques, la fibrose kystique, des	Revêtements qui limitent la capacité des bactéries et autres agents infectieux à adhérer à sa surface et qui	Agent imperméabilisant Inhibiteur de corrosion	

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	infections pulmonaires chroniques, la grippe, l'ostéoporose, l'hypertension pulmonaire...	empêchent les composés de s'infiltrer dans le produit pharmaceutique	Stabilisateur thermique Agent antiadhésif	
		Gaz de propulsion	Gaz de propulsion	
	Membranes ⁴⁵ utilisées pour la ventilation (stérile) de divers dispositifs médicaux (dispositifs analytiques, anesthésiques, de soins respiratoires, de culture cellulaire, systèmes de dialyse, systèmes de tubes pour la chirurgie ophtalmologique...)	Matériaux et revêtements hydrophobes et oléophobes	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Agent antiadhésif	[1] ; [36], [83]
	Plateaux chirurgicaux, outils chirurgicaux, filtres, dilateurs et bouchons pharmaceutiques	Revêtements qui limitent la capacité des bactéries et autres agents infectieux à adhérer à sa surface	Agent imperméabilisant	
	Mastics d'étanchéité (ruban ou monofilament/cordon)	Composant	Agent imperméabilisant	
	Résine pour matériaux optiques (par exemple fibres optiques)	Manque d'informations	Manque d'informations	
Médecine dentaire	Matériaux de restauration dentaire durci aux UV	Composant	Surfactant	[36]
Fluides techniques	Refroidissement/Chauffage d'instruments médicaux	Fluides de transfert thermique	Agent de transfert de chaleur	[1], [83]
	Nettoyage de pièces en métal et en plastique (implants orthopédiques, dentaires et rachidiens, cœurs artificiels, valves cardiaques, cathéters, aiguilles, stents...)	Assurer le contrôle de la température Respecter des normes strictes de nettoyage et de sécurité	Solvant	
Lubrifiants et additifs	Lubrifiants employés dans des équipements hospitaliers	Assurer une lubrification à vie Réduire les pertes par frottement	Agent lubrifiant	[83]
Textiles médicaux	Vêtements de protection (blouses...) et autres textiles en milieu hospitalier (draps, draps chirurgicaux, rideaux...)	Revêtements qui limitent la capacité des bactéries et autres agents infectieux à adhérer à sa surface Protection contre l'eau Protection contre l'exposition au sang ou à d'autres fluides corporels	Inhibiteur de corrosion Agent imperméabilisant Agent antitache Agent antiadhésif	[1] ; [36], [83]
Traitements	Emballage de produits pharmaceutiques sensibles à l'humidité			

⁴⁵ Ces membranes ont pour fonction d'assécher ou humidifier l'air

Sous-secteur d'usage	Applications	Service	Fonctions d'usages et Fonctions techniques	Sources :
	Ampoules, récipients à dose unique et à doses multiples, bouteilles et flacons, cartouches, récipients sous pression, seringues...	Revêtements inertes chimiquement		[1]
	Mèches et traitement des plaies : Toiles pour le traitement d'hernies Rubans médicaux, pansements, agrafes	Protection contre l'eau Protection contre l'exposition au sang ou à d'autres fluides corporels	Agent antiadhérent Agent imperméabilisant	[1] ; [29] ; [36]
	Solvants dans les produits pharmaceutiques	Solvant	Manque d'informations	[83]
	Supplément à la transfusion sanguine conventionnelle et au sang artificiel et perfusion d'organes isolés	Manque d'information	Manque d'informations	[83]
	Tubes et cathéters pour les interventions cardiovasculaire et neurovasculaire, le traitement des vaisseaux sanguins périphériques, la fibrillation auriculaire, l'endoscopie (endoscopie pulmonaire, coloscopie), l'ablation de l'endomètre et la chirurgie vitréo-rétinienne	Matériau stérilisable (prévention des contaminations) sans perte de fonctionnalité et dont la surface est très lisse permettant d'assurer une bonne distribution du liquide	Inhibiteur de corrosion Stabilisateur thermique Agent antiadhésif Agent imperméabilisant	[1] , [83]
	Revêtements pour aiguilles hypodermiques, lames chirurgicales et de coupe, poches de sang, filtres, tubes en PVC...	Assurer un revêtement lisse des lubrifiants, des silicones, des adhésifs ou d'autres matériaux (PTFE...) + maintien de la stérilité		
Gaz de stérilisation	Stérilisation à l'oxyde d'éthylène	Gaz de dilution. Les PFAS ne seraient plus significativement utilisés pour cette application (nombreuses alternatives adoptées/en cours d'adoption).		[1]
Tests de diagnostic en laboratoire	Réfrigération de précision (réfrigérateur de banque de sang, stockage de vaccins), congélateurs à ultra-basse température, stockage cryogénique, centrifugeuses réfrigérées, refroidisseurs de processus pour un contrôle précis de la température, équipements de lyophilisation Dispositifs de diagnostic in vitro		Fluides de transfert thermique	[1] ; [36]
Biotechnologies	Culture cellulaire	Gaz de dissolution d'oxygène	Manque d'informations	[36]
	Ultrafiltration et membranes microporeuses	Matériaux	Manque d'informations	

4.4.15.3 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 76 présente l'état de disponibilité des alternatives tel que répertorié dans la base d'information. Certaines applications peuvent apparaître à différents niveaux de disponibilité (ex : lentilles ophtalmiques) en fonction du type d'alternative envisagée. Les informations sur les alternatives disponibles sont développées dans le Tableau 77.

Tableau 76 : Synthèse sur la disponibilité d'alternatives par sous-usages et applications

Disponibilité d'alternatives	Sous-usage	Applications
Alternative disponible	Applications pour la vision	Lentilles ophtalmiques
	Dispositifs médicaux	Emballage de solutions ophtalmiques
		Inhalateurs doseurs
	Fluides d'ingénierie	Nettoyage
	Lubrifiants et additifs	Solvants et lubrifiants
Alternative au stade recherche et développement Incertain	Textiles médicaux	Équipements hospitaliers
	Applications pour la vision	Par exemple, les draps chirurgicaux, les blouses, les rideaux
	Dispositifs médicaux	Lentilles ophtalmiques
		Composants électroniques
		Dispositifs médicaux implantables
		Fils et câbles
	Fluides d'ingénierie	Nettoyage
Pas d'alternative identifiée	Traitements	Solvants et lubrifiants
		Tubes et cathéters
	Applications pour la vision	Autres dispositifs optiques
		Chirurgie du décollement de la rétine et vitréorétinopathie proliférative
	Dispositifs médicaux	Résine pour matériaux optiques (par exemple fibres optiques)
		Membranes utilisées pour la ventilation des dispositifs médicaux
	Traitements	Dispersants dans les aérosols autoproductibles Produits pharmaceutiques
		Emballage de produits pharmaceutiques sensibles à l'humidité
		Produits de traitement des plaies
		Solvants dans les produits pharmaceutiques
		Supplément à la transfusion sanguine conventionnelle et au sang artificiel et perfusion d'organes isolés

Tableau 77 : Recensement des alternatives disponibles dans le secteur des produits médicaux (** : alternatives référencées à l'échelle du sous-usages, et non nécessairement pour toutes les applications)

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Applications pour la vision	Lentilles ophtalmiques	Alternative disponible	Lentilles de contact en hydrogel souple RGP de première génération à base de silicone Verres Revêtement alternatif
		Manque d'informations	
Dispositifs médicaux	Composants électroniques	Manque d'informations	Groupe cyano- au lieu de CF3
	Dispositifs médicaux implantables	Manque d'informations	Parylène C Poly(ester méthylique de l'acide méthacrylique) Polyamides Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK) Polymère de cristal liquide (LCP) SU-8
	Emballage de solutions ophtalmiques	Alternative disponible	Chlorure de polyvinylidène Film de formage à froid PDMS Polychlorure de vinyle (PVC) Polymère et copolymère d'oléfine cyclique (COP & COC) Silicones
	Fils et câbles	Manque d'informations	Éthylène propylène diène monomère (EPDM) Matériaux à base de céramique Matériaux à base de silicone Polychlorure de vinyle (PVC) Polyétheréthercétone sulfoné (PEEK)
	Inhalateurs à dose mesurée	Alternative disponible	Air Azote Butane Diméthyl éther Dioxyde de carbone Inhalateurs de poudre sèche (DPI) Isobutane Oxyde nitreux Produits à poche sur valve

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
Fluides d'ingénierie	Nettoyage Solvants et lubrifiants	Alternative disponible**	Produits non pulvérisés, y compris les roll-ons Propane Vaporisateurs à gâchette, pompes à doigt, flacons à presser
			Acide paracétique Alcool isopropylique (IPA) Bromure de n-propyle (nPB) chaleur humide chaleur sèche Dichlorométhane (DCM, chlorure de méthylène) Fluides supercritiques - CO ₂ Formaldéhyde Hydrocarbures (acétone) Hydrocarbures (Benzène) Hydrocarbures (Heptane) Hydrocarbures (Hexane) Méthodes de nettoyage manuel - aérosols, brosse, spray à gâchette, immersion dans un liquide, nettoyage ponctuel, lingettes Nettoyage au plasma Nettoyage semi-aqueux / aqueux Oxyde d'éthylène Ozone Pas de flux propres Perchloroéthylène (PER) Peroxyde d'hydrogène gazeux Procédé d'alkylation Processus d'oxydation Rayonnement ionisant faisceau d'électrons Rayonnement ionisant rayon gamma Rayonnement ionisant Rayon X Siloxanes méthyliques volatils Systèmes de plasma gazeux Trans-1,2-dichloroéthylène Trichloréthylène (TCE) Ultrasonic

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
		<i>Manque d'informations</i>	Nettoyage aqueux Nettoyage semi-aqueux Solvants alcooliques Solvants chlorés
Lubrifiants et additifs	Équipements hospitaliers	Alternative disponible	Acides gras, C16-18 et C18 non saturés, esters de méthyle Autres produits inorganiques (par exemple, phosphates de zinc pour la construction de couches) Déc-1-ène, homopolymère, hydrogéné Déc-1-ène, oligomères, hydrogéné Disulfure de molybdène (MoS ₂) Graphène (modifié) Graphite Huile de silicone/Polydiméthylsiloxanes Laque dorée phénolique-méla mine à base d'eau Nitrure de bore Phosphore noir (BP) Silice amorphe WS2 (TUNGSTEN DISULPHIDE)
Textiles médicaux	Par exemple, les draps chirurgicaux, les blouses, les rideaux	Alternative disponible	APGLO - Plasma Dry Technology sans PFOA Aqualon™ - DWR sans PFAS Bioguard Zero - hydrofuge BIONIC-FINISH® ECO Crypton C-Zero technologie de performance sans fluor DWR sans fluor : HC303 et NIA EVORAL NFP - Hydrofuge sans PFC (Textile) GreenShield ZERO - Finition sans fluor pour une résistance aux taches à base d'eau HYDROSIN NF-01 - Hydrofuge pour textiles MLSE® - Multiplexed Laser Surface Enhancement for Textile (Amélioration de la surface des textiles par laser multiplexé) Permutex® WR 43-064 - hydrofuge sans PFC Reapret - hydrofuge Sciessent Curb® Hydrofuge durable sans fluor Série NEOSEED® : Hydrofuge durable sans fluor Texfin HTF Unidyne XF - émulsion polymère à base d'eau sans fluor

Sous-usage	Applications	Disponibilité recensée d'alternatives	Alternatives potentielles répertoriées
		Alternative au stade recherche et développement	Dispersion anionique à base d'eau d'un polyéther polyuréthane mat Dispersion aqueuse, sans solvant, anionique d'un polyéther uréthane aliphatique Polyuréthane
Traitements	Tubes et cathéters	Manque d'informations	Polyamides Polyéthylène

4.4.15.4 Synthèse bibliographique

De façon générale, les PFAS apportent des fonctions critiques en termes de sécurité et performance des dispositifs médicaux ou des techniques médicales, dont ils ont souvent permis l'émergence ou l'amélioration. Ainsi, leur remplacement et en général jugé très difficile, mais il existe certains cas où il est déjà possible, comme pour les gaz stérilisants.

De plus, la faisabilité des alternatives peut être difficile à qualifier de façon générale, même pour une application précise, car elle peut dépendre de chaque patient. Ainsi, les professionnels qui ont été contactés dans le cadre du dossier de restriction ont dans plusieurs cas émis le besoin que, même lorsque des alternatives existent, les solutions basées sur les PFAS puissent continuer à être utilisées.

Nous faisons, sur la base du dossier de restriction, un état plus précis pour les principales applications ci-après (sauf pour les substances actives médicinales et vétérinaires).

Dispositifs médicaux implantables (sutures, endoprothèses, pacemakers,)

Du fait de l'unicité des propriétés des matériaux perfluorés, telles que la biocompatibilité, la résistance à la chaleur, le faible frottement, l'inertie chimique, les matériaux alternatifs potentiels pour ce type d'applications ne sont pas considérés comme utilisables en général. Toutefois, le coût plus élevé des PFAS a contribué à progresser dans leur substitution dans les cas où les performances des alternatives sont acceptables.

Mailles pour le traitement des hernies

Des alternatives existent mais présenteraient parfois des inconvénients en termes de risques d'effets indésirables, toutefois informations sont anciennes (2014) et pourraient ne pas prendre en compte le développement et la mise sur le marché de nouveaux produits.

Produits de traitement des plaies (pansements, bandes chirurgicales, agrafes chirurgicales),

Le dossier conclue que peu d'alternatives techniquement réalisables sont disponibles.

Tubes et cathéters

Dans ce domaine, les alternatives envisageables sont peu utilisées, car elles impliquent une souffrance supérieure du patient intubé, en raison de leurs moins bonnes propriétés lubrifiantes.

Usage dans les aérosols/doseurs

Les PFAS peuvent être employés dans le revêtement intérieur et/ou en tant que gaz propulseur. Dans le premier cas, il ne semble pas exister d'alternatives, et dans le second des alternatives existent (notamment le HFC 152-a).

Nettoyage et transfert de chaleur : fluides techniques

Dans ce domaine, le dossier de restriction identifie deux alternatives potentielles aux fluides techniques perfluorés, qui sont le bromure de n-propyle (nPB ou 1-bromopropane) et le trichloroéthylène (TCE), mais les considère comme inappropriées du fait de leurs dangers (ces deux substances figurent à l'annexe XIV de REACH et l'ECHA étudie de plus leur éventuelle restriction).

Gaz stérilisants

La conclusion est que de nombreuses alternatives sont disponibles, et la substitution possible.

Applications dans le domaine de la vision - lentilles de contact rigides perméables aux gaz et lentilles ophtalmiques

Pour les lentilles ophtalmiques, des revêtements alternatifs sont disponibles, mais ils sont associés à une qualité inférieure. Pour les lentilles de contact rigides perméables au gaz (RGP), il existe des alternatives techniques et chimiques, qui sont les lunettes et les lentilles de contact en hydrogel souple (génération précédente par rapport aux RGP contenant des PFAS). Ces produits alternatifs sont disponibles mais présentent des performances moins bonnes (durabilité, stabilité, ...)

Membranes utilisées pour la ventilation des dispositifs médicaux

Les membranes hydrophobes/oléophobes à base de PTFE et de PET fluoré sont utilisées pour la ventilation (stérile) de plusieurs dispositifs médicaux, par exemple les dispositifs de culture cellulaire, les dispositifs analytiques, les systèmes de dialyse. Très peu d'information a pu être collectée pour le dossier de restriction, avec seulement quelques indications tendant à mettre en doute l'existence d'alternatives.

Emballage, conditionnement de médicaments et de dispositifs médicaux

Pour cette catégorie d'usage, peu d'information sont en général disponibles dans le dossier de restriction, et il semble que les exigences de performances liées à la sécurité des patients rendent difficile l'adoption d'alternatives.

Substances actives dans les produits phytopharmaceutiques (PPP) et les produits biocides

Certains PFAS sont employés comme substances actives dans les produits phytopharmaceutiques ou les produits biocides. Les PFAS en question se distinguent de ceux plus généralement évoqués dans ce rapport par leur structure chimique : il s'agit en général de substances actives dont la structure moléculaire est principalement composée de cycles aromatiques associés à la présence d'un ou deux groupes CF_3 qui permettent de jouer sur la stabilité et la lipophilie des molécules.

La présence de ce groupe CF_3 pourrait conduire, lorsque les molécules se dégradent à la formation de métabolites et/ou de produits de dégradation extrêmement persistants dans l'environnement comme l'acide trifluoroacétique (TFA).

4.4.15.5 Substances actives dans les PPP

Une cinquantaine de PFAS sont identifiés comme substances actives au titre du Règlement No 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. Dans la majorité des cas, l'application recherchée reste à identifier, mais celle d'herbicide semble la plus représentée (voir Tableau 78).

Tableau 78 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur des produits pharmaceutiques (source : [83])

Étiquettes de lignes	Nombre de substances
PPP	51
Produits phytosanitaires	51
Acaricide	1
Additifs	3
Fongicide	5
Herbicide	10
A déterminer	30
Insecticide	3

Parmi ces substances, les données de la Banque Nationale des Ventes distributeurs (BNV-d) ont permis d'en identifier 30 effectivement employées en France. Les données de la BNV-d

permettent d'estimer un volume total à 2 530 tonnes (chiffre arrondi) en 2022, en hausse de 19% par rapport aux ventes de 2020 (voir Tableau 79). Les herbicides flufenacet et diflufenicanil représentent ensemble environ 60% de ces volumes.

Il convient enfin de noter que certains PFAS pourraient également être employés comme co-formulants dans les PPP, qui, contrairement aux substances actives, sont réglementés dans le cadre de REACH. Cependant, aucune information concernant cet usage n'a été identifiée.

Tableau 79 : Quantités de substances actives PFAS correspondant aux achats de produits phytopharmaceutiques enregistrés sur le territoire français entre 2020 et 2022, en kg (Source : [BNV-d Tracabilité](#)) Note : Seules les substances identifiées dans le dossier de restriction ont été recherchées.

CAS No	Nom de la substance	2 020		2 021		2 022	
		Qté de substance active, kg	Nbre de produits associés	Qté de substance active, kg	Nbre de produits associés	Qté de substance active, kg	Nbre de produits associés
Acaricide							
102851-06-9	tau-fluvalinate (pyrosulam)	49 499	8	47 175	9	50 163	8
Fongicide							
112281-77-3	tetraconazole	28 936	10	25 715	8	28 555	8
180409-60-3	cyflufenamid	8 734	15	8 409	18	9 633	18
239110-15-7	fluopicolide	58 503	9	59 671	9	61 965	9
66332-96-5	flutolanil	12 875	4	11 321	3	10 534	2
79622-59-6	fluazinam	54 320	11	60 699	11	57 584	11
Herbicide							
113614-08-7	beflubutamide	2 972	2	2 609	2	2 989	1
126535-15-7	triflurosulfuron-methyl	7 458	5	7 133	5	8 889	7
142459-58-3	flufenacet	676 453	31	801 519	37	910 930	46
142469-14-5	tritosulfuron	29 498	7	28 025	6	27 934	4
219714-96-2	penoxsulame	1 112	7	688	8	499	7
42874-03-3	oxyfluorfen	1	2	0	1	0	1
61213-25-0	flurochloridone	102 721	2	70 189	2	61 811	3
83164-33-4	diflufenicanil	500 203	73	559 466	67	624 928	77
Insecticide							
102851-06-9	tau-fluvalinate (pyrosulam)	49 499	8	47 175	9	50 163	8
158062-67-0	flonicamide	64 788	1	34 506	1	29 899	3
79538-32-2	tefluthrine	51 160	5	45 742	8	48 619	9
Fonction inconnue							
1003318-67-9	oxathiapiproline	6 190	3	6 083	5	22 108	7
104040-78-0	flazasulfuron	5 101	16	4 161	14	4 413	15
137641-05-5	picolinafen	22 016	7	19 169	7	20 797	9
141112-29-0	isoxaflutole	45 427	8	39 546	11	43 645	11
141517-21-7	trifloxystrobin	89 462	18	93 098	19	106 708	17
1417782-03-6	mefentrifluconazole	58 972	2	110 378	5	125 808	8
179101-81-6	pyridalyl	21	1	21	1	NA	NA
183675-82-3	penthiopyrad	NA	NA	17	1	780	2
335104-84-2	tembotrione	10 619	4	9 752	4	9 659	4
422556-08-9	pyroxsulame	8 560	7	5 970	7	6 110	8
658066-35-4	fluopyram	141 358	22	136 477	22	149 744	23
76703-62-3	gamma-cyhalothrine	24	1	21	1	0	1
91465-08-6	lambda-cyhalothrine	78 724	19	79 254	19	96 867	22
94125-34-5	prosulfuron	3 808	8	5 547	11	7 100	12
Totaux (kg)		2 119 511		2 272 362		2 528 669	

4.4.15.6 Substances actives dans les produits biocides

7 substances PFAS sont approuvées au titre du Règlement No 528/2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides (Voir Tableau 80). Parmi celles-ci 4 portent sur des produits Insecticides, acaricides et produits de lutte contre les autres arthropodes (TP18). Malgré des applications similaires, celles-ci ne sont pas comptées parmi les substances actives de PPP identifiées plus haut.

Tableau 80 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans les produits biocides (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Biocides	7
Produit biocide	7
Insecticides, acaricides et produits de lutte contre les autres arthropodes (TP18)	4
Produits antialissures (TP21)	1
Produits de préservation du bois (TP8)	2
Rodenticides (TP14)	1

Une analyse croisée des données contenues dans la base de données BioCID et dans les autorisations de mise sur le marché pourrait permettre de réaliser une estimation des quantités de PFAS employées en France. Toutefois, cette étude reste à réaliser.

A titre d'information le rapport Ineris de 2022 [90] qui portait sur les possibilités de substitution des substances employées dans les produits de traitement du bois (TP8) n'avait pas identifié de produit contenant du chlorfenapyr ou du bifenthrine (les 2 PFAS identifiés ici comme potentielles substances actives destinées à des produits de préservation du bois) sur le marché français.

4.4.15.7 Disponibilité des alternatives

Les Tableau 81 et Tableau 82 constituent des inventaires des substances actives associées aux mêmes applications que les substances PFAS citées évoquées ci-dessus dans les PPP et les produits biocides. Toutefois, des études spécifiques restent à mener pour évaluer dans quelle mesure elles pourraient représenter des solutions de substitution appropriées à tous les cas d'usage.

A titre d'exemple, le rapport Ineris [90] montrait bien que toutes les substances biocides employées pour le traitement du bois n'étaient pas toujours substituables entre elles.

Tableau 81 : Substances actives autorisées pouvant être envisagées comme alternatives aux PFAS dans les produits phytosanitaires

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées		
Produits phytosanitaires	Acaricide	Acide caprique Acide caprylique Acide laurique Acide oléique Acide pélagonique Acides gras C7 à C20 Acides gras C8-C10 esters de méthyle Acides gras en C7-C18 et insaturés en C18, sels de potassium Buprofezin	Clofentezine Décanoate de méthyle Distillats moyens (pétrole), hydrotraités Fenazaquin Fenpyroximate Formétanate Hexythiazox Huile de colza Huile minérale	Huiles lubrifiantes (pétrole), C15-30, à base d'huile neutre hydrotraitée Hydrocarbures, C17-30, distillats hydrotraités, lumières de distillation Mélange de M.A3 et M.A4Milbemectine Octanoate de méthyle Pyridaben Soufre Tebufenpyrad
	Fongicide	1,8-Cinéole 2-Phénylphénol 8-Hydroxyquinoléine Azoxytrobine Bacillus subtilis (Cohn 1872) Souche QST 713, identique à la souche AQ 713 Collection de cultures no : NRRL B-21661 Benthiavalicarbe Boscalid Bromuconazole Bupirimate Captan Collection de cultures no ATCC 20847Trichoderma harzianum Rifai STRAIN : Trichoderma harzianum T-22 Cymoxanil Cyprodinil Dazomet Difénoconazole Diméthomorphe Dimoxystrobine Distillats moyens (pétrole), hydrotraités Dithianon Dodémorphe	Dodine Ester méthylique de l'acide 2,5-dichlorobenzoïque Extrait d'arbre à thé Fenpropidine Fludioxonil Fluoxastrobine Folpet Fosétyl Huile de clou de girofle Huiles lubrifiantes (pétrole), C15-30, à base d'huile neutre hydrotraitée Hydrocarbures, C17-30, distillats hydrotraités, lumières de distillation Hymexazol Imazalil Kresoxim-méthyl Lécithines Mépanipyrin Métalaxyl Metam Metconazole Métiram Métrafénone	Propamocarbe Proquinazid Prothioconazole Pseudomonas chlororaphis Souche : MA 342, Collection de cultures : NCIMB, UK : NCIMB 40616 Pyraclostrobine Pyriméthanil Sels de 2-phénylphénol tels que le sel de sodium Soufre Soufre de chaux Spiroxamine tébuconazole Terpinen-4-ol Trichoderma asperellum...* Trichoderma atroviride...* Trichoderma gamsii...* Trichoderma harzianum...* Triticonazole Urée Ziram α -Terpinène γ -Terpinène

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées		
	Herbicide	Acide acétique Acide caprique Acide caprylique Acide laurique Acide oléique Acide pélargonique Acides gras C7 à C20 Acides gras C8-C10 esters de méthyle Acides gras en C7-C18 et insaturés en C18, sels de potassium Aclonifen Amidosulfuron Bensulfuron Bifenox Bispyribac Chlorotoluron Cléthodime Clodinafop Clomazone Cycloxydime Dazomet	Penconazole Décanoate de méthyle Dicamba Dichlorprop-P Diclofop Diclofop-méthyl Diméthachlore Fenoxaprop-P Fluroxypyr Glyphosate Huile de citronnelle Isoxabène Lenacil MCPA MCPB Mecoprop-P Metam Métamitron Métazachlore Métolachlore (isomère S et isomère R) Métribuzine	Napropamide Nicosulfuron Octanoate de méthyle Phenmedipham Piclorame Propaquizafop Prosulfocarbe Quinmerac Quizalofop-P-éthyl Quizalofop-P-tefuryl Rimsulfuron Sulcotrione Sulfate de fer(II) anhydre Sulfate de fer(II) heptahydraté Sulfate de fer(II) monohydraté Terbutylazine Tri-allate Triclopyr
	Insecticide	Acide caprique Acide caprylique Acide laurique Acide oléique Acide pélargonique Acides gras C7 à C20 Acides gras C8-C10 esters de méthyle Acides gras en C7-C18 et insaturés en C18, sels de potassium Azadirachtine A Bacillus thuringiensis...* Beauveria bassiana...* Buprofezin	deltaméthrine Distillats moyens (pétrole), hydrotraités etofenprox Extrait de pyréthrines A : extraits de Chrysanthemum cinerariaefolium fluorure de sulfuryle Formétanate Fosthiazate Huile de colza Huile minérale Huiles lubrifiantes (pétrole), C15-30, à base d'huile neutre hydrotraitée Hydrocarbures, C17-30, distillats hydrotraités, lumières de distillation	Mélange de M.A3 et M.A4Milbemectine Metam Octanoate de méthyle Oxamyl Phosphure d'aluminium Phosphure de magnésium Pirimicarbe Pirimiphos-méthyl Pyréthrines Pyréthrines Extrait B Pyridaben Spinosad Tau-fluvalinate

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées
	Cydia pomonella Granulovirus (CpGV)	Malathion
	Dazomet	Tebufenozide
	Décanoate de méthyle	Tebufenpyrad

Tableau 82 : substances pouvant être envisagées comme alternatives aux PFAS dans les produits biocides

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles
Produit biocide	Insecticides, acaricides et produits de lutte contre les autres arthropodes	Clothianidine Cyperméthrine Imiprothrine 1R-trans phénothrine Piperonyl butoxide/PBO Acétamipride (ISO) Acide décanoïque Acide octanoïque Bacillus sphaericus 2362, souche ABTS-1743 Bacillus thuringiensis subsp. israelensis Sérotype H14, souche AM65-52 Bacillus thuringiensis subsp. israelensis, souche SA3A Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki, souche ABTS-351 Bendiocarbe
	Produits antialissures	DCOIT Pyrithione de cuivre Dichloro-N-[(diméthylamino)sulfonyl]...* Médétomidine
	Produits de préservation du bois	Chlorure de coco alkyltriméthylammonium (ATMAC/TMAC) Chlorure de didécyldiméthylammonium (DDAC) Créosote Cu-HDO Cuivre granulé
		cyanure d'hydrogène deltaméthrine Diflubenzuron Dinotefuran Dioxyde de silicium amorphe synthétique (nano) Dioxyde de silicium pyrogène, synthétique, amorphe, nano, traité en surface epsilon-Momfluorothrine etofenprox Extrait de Margosa...* fluorure de sulfuryle imidaclopride Indoxacarb (masse de réaction énantiomérique S:R 75:25) Kiesलग (terre diatomée)
		Métofluthrine N-cyclopropyl-1,3,5-triazine-2,4,6-triamine (Cyromazine) Perméthrine Phosphure d'aluminium libérant de la phosphine Phosphure de magnésium libérant de la phosphine pyriproxifène S-Méthoprène Spinosad thiaméthoxame Transfluthrine α-cyano-3-phénoxybenzyl2,2...* α-cyano-4-fluoro-3-phénoxybenzyl3...* [1α(S*),3α]-(-)-cyano-(3-phénoxyphenyl)méthyl3...*
		Thiocyanate de cuivre Zineb fluorure de sulfuryle Hydroxyde de cuivre K-HDO Oxyde de cuivre (II) Penflufen Perméthrine

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles		
		Acide borique	cyanure d'hydrogène	tébuconazole
		Carbonate de cuivre basique	DDACarbonate	Tétraborate de disodium pentahydraté
		Chlorure d'alkyl (C12-16) diméthylbenzyl ammonium (ADBAC/BKC (C12-16))	etofenprox	Tétrahydro-3,5-diméthyl-1,3,5-thiadia-zine-2-thione (Dazomet)
	Rodenticides	Alphachloralose	Coumatétralyl	Phosphure d'aluminium libérant de la phosphine
		Brodifacoum	Cyanure d'hydrogène	Poudre d'épis de maïs
		Bromadiolone	Difenacoum	Warfarine
		Chlorophacinone	Diféthialone	
		Cholécalficérol		

4.4.16 Le secteur pharmaceutique et vétérinaire

Certains PFAS sont employés comme substances actives dans les médicaments à usage humain et à usage vétérinaire. Ces derniers sont régis au niveau européen par le Règlement (CE) No 726/2004 établissant des procédures communautaires pour l'autorisation et la surveillance en ce qui concerne les médicaments à usage humain et à usage vétérinaire, et la directive 2001/83/CE qui établit les règles régissant, entre autres, la fabrication, l'importation, la mise sur le marché et la distribution en gros des médicaments dans l'Union européenne ainsi que les règles relatives aux substances actives.

Comme pour les produits biocides et phytopharmaceutiques, les PFAS en question sont généralement des substances actives dont la structure moléculaire est principalement composée de cycles aromatiques associés à la présence d'un ou deux groupes CF₃ qui permettent de jouer sur la stabilité et la lipophilie des molécules. Ces PFAS seraient susceptibles de conduire à la formation de métabolites et/ou de produits de dégradation extrêmement persistants dans l'environnement comme l'acide trifluoroacétique (TFA).

Le dossier de restriction évalue à plus de 500 tonnes par an les quantités de PFAS employées pour cet usage en Europe. Cette évaluation n'intègre cependant pas les substances actives à usage vétérinaire pour lesquelles très peu d'informations ont été réunies.

60 PFAS ont été identifiés comme substances actives dans les médicaments à usage humain et associées à diverses applications selon la classification internationale ATC⁴⁶ qui répertorie les médicaments en fonction de l'organe ou du système sur lequel ils agissent et de leurs propriétés thérapeutiques, pharmacologiques et chimiques. Le Tableau 83 fournit un inventaire de ces applications, qui, néanmoins, est vraisemblablement incomplet. Lors de la consultation publique, la fédération européenne des industries pharmaceutiques (EFPIA) et AnimalHealth Europe [91] a indiqué que « parmi les médicaments lancés et (pré)enregistrés [en Europe], environ 100 contiennent au moins un groupe méthyle perfluoré (CF₂ ou CF₃) »⁴⁷.

Il faut noter que certains PFAS peuvent être associés à d'autres usages médicaux :

- Comme excipients intermédiaire de synthèse pour la fabrication de ces excipients. Selon [91] les seuls excipients identifiés comme étant des PFAS sont les gaz propulseurs employés dans les inhalateurs-doseurs (voir 4.4.5 Les gaz fluorés).
- Comme intermédiaires de synthèse pour la production des substances actives.
- Dans les équipements permettant la fabrication des médicaments. Comme évoqué par ailleurs, les fluoropolymères tels que le PTFE sont utilisés comme joints ou revêtements pour les réacteurs chimiques, les tuyauteries, les pompes, les flacons et les dispositifs tels que les filtres à membrane.
- Des fluoropolymères tels que le PCTFE (polychlorotrifluoroéthylène) sont utilisés dans des emballages thermoformés de médicaments en dose orale. Les formulations injectables sont conditionnées dans des flacons dont les bouchons et joints conçus pour garantir la stabilité du médicament sont en élastomères potentiellement fluorés.
- Des PFAS peuvent être utilisés dans des joints, silicones, lubrifiants, et filtres de dispositifs tels que des seringues pré-remplies, des stylos injecteurs à usage unique ou des dispositifs réutilisables.

⁴⁶ https://atcddd.fhi.no/atc_ddd_index/ (consulté en février 2025)

⁴⁷ Traduction de l'auteur

Tableau 83 : Estimation du nombre de substances PFAS employées dans le secteur pharmaceutique (source : [83])

Secteur/Sous-usage/Application	Nombre de substances PFAS associées
Principes actifs pharmaceutiques	61
Applications dans le domaine de la santé humaine	60
Agents antinéoplasiques et immunomodulateurs	18
Anti-infectieux à usage systémique	8
Divers	3
Organes sensoriels	2
Préparations hormonales systémiques (à l'exception des hormones sexuelles et des insulines)	1
Produits antiparasitaires, insecticides et répulsifs	1
Sang et organes hématopoïétiques	1
Système cardiovasculaire	4
Système génito-urinaire et hormones sexuelles	2
Système musculosquelettique	2
Système nerveux	7
Système respiratoire	2
Tube digestif et métabolisme	12
Applications vétérinaires	2
Système nerveux	2

Des exemples de molécules actives pharmaceutiques sont l'enflurane (agent d'anesthésie générale), l'albelisib (médicament contre le cancer), l'antidiabétique gemigliptine, l'anticholestérol atorvastatine, et l'antidépresseur largement utilisé fluoxetine (Prozac) [92]. Ce dernier, ainsi que probablement d'autres molécules API comportant des groupements -CF₃ est susceptible de se dégrader en Acide trifluoroacétique (TFA), extrêmement persistant, dans les milieux naturels [93].

Concernant le domaine vétérinaire, le dossier de restriction comporte très peu d'informations. Dans la communication de 2023 [91], l'EFPIA et AnimalHealth Europe indique avoir identifié 16 composés fluorés destinés au traitement d'infections et d'infestations parasitaires. L'inclusion de ces substances dans la base d'information associée à ce rapport et basée sur [83] reste à mener. On pourra nommer à titre d'exemples le fipronil (antiparasitaire), la flunixin (anti-inflammatoire) [94].

4.4.16.1 Disponibilité des alternatives

Le Tableau 84 répertorie les substances actives associées aux mêmes applications thérapeutiques que celles liées aux PFAS mentionnées ci-dessus en se référant à la classification ATC de l'OMS. Elles sont extraites de la base d'information associée à ce rapport.

Cet inventaire ne doit cependant pas être interprété comme un état des lieux des alternatives disponibles, des études spécifiques restant à mener par les parties prenantes expertes du domaine. L'IFPEA reconnaît dans [91] la coexistence de médicaments classés comme PFAS et de médicaments non fluorés pour une même classe thérapeutique, mais souligne que les professionnels de santé doivent disposer de plusieurs options thérapeutiques pour tenir compte de variables telles que l'état de santé du patient, le potentiel d'interaction avec d'autres médicaments prescrits ou la réponse individuelle (effets secondaires). L'affirmation vaut pour les médicaments vétérinaires également.

A titre d'information générale, [91] indique que d'autres groupes chimiques, tels que les esters carboxyliques, ou les amides, peuvent jouer des rôles similaires à ceux des groupes CF₂ et CF₃, mais différant néanmoins en termes de stabilité, de perméabilité voire de toxicité.

Enfin, il faut noter que les substances actives médicales et vétérinaires ne sont pas dans le champ de la restriction proposée dans le cadre de REACH, au motif qu'il existe les concernant une réglementation européenne spécifique susceptible de gérer les risques environnementaux.

Tableau 84 : Alternatives potentielles aux PFAS (liste des API non-PFAS pour la même classe thérapeutique) dans le secteur pharmaceutique, dont la pertinence reste à démontrer

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées		
Applications dans le domaine de la santé humaine	Agents antinéoplasiques et immunomodulateurs	abatacept	épacadostat	pegcetacoplan
		abetimus	éribuline	pentostatine
		acide mycophénolique	estramustine	pexidartinib
		adagrasib	évérolimus	plitidepsine
		aflibercept	filgotinib	ponesimod
		alefacept	fingolimod	pralsétinib
		alemtuzumab	floxuridine	quizartinib
		altrétamine	fluorouracile	ravulizumab
		amsacrine	fluorouracile, combinaisons	ripretinib
		anagrelide	flutamide	selinexor
		anifrolumab	gilteritinib	selpercatinib
		apremilast	gusperimus	sirolimus
		asciminib	hydroxycarbamide	sotorasib
		asparaginase	imatinib	sunitinib
		avacopan	imlifidase	surufatinib
		avapritinib	immunoglobuline antilymphocytaire (cheval)	sutimlimab
		azacitidine	immunoglobuline antithymocytaire (lapin)	tagraxofusp
		baricitinib	inebilizumab	tamoxifène
		begelomab	itacitinib	tazémétostat
		bélatacept	larotrectinib	tébentafusp
		belimumab	lenvatinib	tegafur
		belumosudil	lonidamine	tegafur, combinaisons
		belzutifan	lurbinectedin	tepotinib
		bosutinib	masitinib	teprotumumab
		cabozantinib	masoprocol	tiazofurine
		capécitabine	mépesuccinate d'omacétaxine	tofacitinib
		capmatinib	midostaurine	toremifene
		carmofur	mitoguazone	trifluridine, combinaisons
		cladribine	mitotane	trioxyde d'arsenic
		cytarabine	muromonab-CD3	ublituximab
		darolutamide	natalizumab	umbralisib
		dasatinib		vandétanib

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées	
		décitabine denileukin diftotox deucravacitinib eculizumab efalizumab efgartigimod alfa emapalumab enasidenib entrectinib	nintedanib oblimersen ocrelizumab ofatumumab ozanimod pazopanib peficitinib pegaspargase vedolizumab venetoclax vinblastine vincristine vindesine vinorelbine vintafolide vosaroxine
	Anti-infectieux à usage systémique	acide pentanedioïque imidazolyl éthanamide amenamevir amprénavir asunaprevir atazanavir baloxavir marboxil Boceprevir Bulevirtide coblopassvir daclatasvir daclatasvir, asunaprevir et beclabuvir darunavir dasabuvir dasabuvir, ombitasvir, paritaprévir et ritonavir delavirdine elbasvir	elbasvir et grazoprevir enfuvirtide etravirine faldaprevir favipiravir fosamprenavir fostemsavir grazoprevir ibalizumab indinavir inosine pranobex iodure d'énisamium lenacapavir lysozyme maribavir moroxydine nelfinavir névirapine nirmatrelvir et ritonavir ombitasvir, paritaprevir et ritonavir pleconaril ribavirine rilpivirine ritonavir saquinavir Siméprévir sofosbuvir sofosbuvir et velpatasvir tecovirimat télaprévir tilorone umifenovir
	Tube digestif et métabolisme	acétate de zinc acide thioctique acide tiomolibdique alogliptine amfépramone benzoate de sodium benzoate de sodium et phénylacétate de sodium bupropion et naltrexone	gemigliptine et rosuvastatine givosiran Glycérol phénylbutyrate gomme de guar imeglimin linagliptine lonafarnib lorcaserin phentermine et topiramate phénylbutyrate de sodium pramlintide rabéprazole rabéprazole, amoxicilline et clarithromycine rabéprazole, amoxicilline et métronidazole rabéprazole, combinaisons

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées	
		carfloglitazar casopitant cathine chlorobutanol chlorobutanol, combinaisons clobenzorex dexlansoprazole dexrabeprazole dorzagliatine dronabinol eliglustat elivaldogene autotemcel éphédrine, combinaisons ésoméprazole ésoméprazole, amoxicilline et clarithromycine Étilamfétamine evogliptin fosdénoptérine gemigliptine	lumasiran mazindol méfénorex métopimazine migalastat miglustat mitiglinide nabilone nateglinide oméprazole oméprazole, amoxicilline et clarithromycine oméprazole, amoxicilline et métronidazole oméprazole, amoxicilline et rifabutine oxalate de cérium pantoprazole pantoprazole, amoxicilline et clarithromycine pantoprazole, amoxicilline, clarithromycine et métronidazole phentermine repaglinide saproptérine saxagliptine scopolamine scopolamine, combinaisons setmelanotide sibutramine Sous-citrate de bismuth, tétracycline et métronidazole teduglutide tegoprazan téneligliptine tirzepatide triacétate d'uridine trientine triheptanoïne trithione d'anéthole vildagliptine vonoprazan vonoprazan, amoxicilline et clarithromycine vonoprazan, amoxicilline et métronidazole
	Organes sensoriels	bimatoprost latanoprost	latanoprost et netarsudil latanoprostène bunod
	Préparations hormonales systémiques (à l'exception des hormones sexuelles et des insulines)	calcifediol doxercalciférol	etelcalcetide paricalcitol
	Produits antiparasitaires, insecticides et répulsifs	artéméther et luméfantrine artémimol et pipéraquline artémisinine et naphtoquine	artémisinine et piperaquine artésunate et amodiaquine artésunate et pyronaridine artésunate, sulfadoxine et pyriméthamine artésunate, sulfalène et pyriméthamine quinine
	Sang et organes hématopoïétiques	abciximab acide acétylsalicylique acide acétylsalicylique, associations avec des inhibiteurs de la pompe à protons	clopidogrel cloricromen Dipyridamole prasugrel selexipag ticagrelor

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées	
		aloxiprine beraprost carbasalate de calcium cilostazol	ditazole époprosténol éptifibatide iloprost indobufen vorapaxar
Système cardiovasculaire	acide bémédoïque alipogène tiparvovec alirocumab altizide et agents d'épargne potassique amlodipine barnidipine benidipine butizide et agents d'épargne potassique chlorothiazide chlorothiazide et potassium chlortalidone et agents d'épargne potassique cilnidipine clevidipine cyclopenthiazide cyclopenthiazide et agents d'épargne potassique cyclopenthiazide et potassium cyclothiazide cyclothiazide et potassium dextrothyroxine encaïnide épitizide et agents d'épargne potassique éthacizine	évinacumab evolocumab ezetimibe félodipine hydrochlorothiazide hydrochlorothiazide et agents d'épargne potassique Hydrochlorothiazide et potassium hydrofluméthiazide hydrofluméthiazide et potassium inclisiran isradipine lacidipine lercanidipine lévamlodipine lorcainide manidipine mébutizide mébutizide et agents d'épargne potassique mégglutol méthyclothiazide méthyclothiazide et potassium métolazone et agents d'épargne potassique	ticlopidine tirofiban Tréprostinil triflusal mipomersen nicardipine nifédipine nifédipine, combinaisons nilvadipine nimodipine nisoldipine nitrendipine oméga-3-triglycérides, y compris autres esters et acides policosanol polythiazide polythiazide et potassium probucol propafénone pyridoxal 5-phosphate de magnésium glutamate tiadénol trichlorméthiazide trichlorméthiazide et agents d'épargne potassique trichlorméthiazide et potassium volanesorsen
Système génito-urinaire et hormones sexuelles	alfuzosine alfuzosine et finastéride doxazosine et finastéride	finasteride finasteride et tadalafil tamsulosine	tamsulosine et solifénacine tamsulosine et tadalafil térazosine
Système musculo-squelettique	acide flufénamique acide méclofénamique	etoricoxib lumiracoxib	polmacoxib rofecoxib

Sous-usage	Applications	Alternatives potentielles répertoriées		
		acide méfénamique	parécoxib	valdécoxib
		acide tolfénamique		
	Système nerveux	Acétophénazine	escitalopram	pimozide
		alaproclate	etoperidone	prochlorperazine
		butapérazine	fluspirilène	sertraline
		chloroforme	halothane	thiopropazate
		citalopram	paroxétine	thiopropérazine
		dixyrazine	perazine	trichloréthylène
		enflurane	perphénazine	zimeldine
	Système respiratoire	ivacaftor	ivacaftor et lumacaftor	oxyde nitrique
	Divers	hexafluorure de soufre, microsphères de phospholipide	microparticules de galactose	perflubutane, microsphères de phospholipide
			perflénapent	
Applications vétérinaires	Système nerveux	alaproclate	escitalopram	sertraline
		chloroforme	etoperidone	trichloréthylène
		citalopram	halothane	zimeldine
		enflurane	paroxétine	

5 Cartographie générale des alternatives disponibles

Il est possible de mobiliser les données capitalisées dans la base d'information [83] pour cartographier simplement le nombre d'applications propres à chaque secteur d'usage ainsi que la disponibilité d'alternatives.

Pour ce faire, nous avons simplifié le diagnostic associé à la disponibilité d'alternatives et établi le code couleur présenté dans le Tableau 85.

Tableau 85 : classification de la disponibilité d'alternatives

Code couleur	Diagnostic simplifié sur la disponibilité d'alternatives
	Alternatives disponibles.
	Alternatives disponibles mais pertinence à démontrer pour adoption par le marché. Dans le cas des biocides et des PPP, il existe une substance active autorisée pour le même type d'usage biocide.
	Selon les sources d'informations des alternatives sont disponibles ou au stade recherche et développement.
	Certaines sources d'informations évoquent la disponibilité d'alternatives mais d'autres indiquent que qu'elles sont au stade recherche et développement ou que leur disponibilité est incertaine.
	Des alternatives sont au stade recherche et développement ou d'autres source indiquent qu'il y a incertitude sur la disponibilité d'alternatives. Aucune source n'indique d'alternatives immédiatement disponibles.
	Les sources disponibles indiquent que la disponibilité d'alternatives est incertaine.
	Pas d'alternative identifiée.
	Absence d'information.

Le résultat est présenté sur la Figure 3 ci-dessous et le détail de la cartographie est fourni en Annexe 2 : détail de la cartographie présentée en partie 5, p.183., p.197.

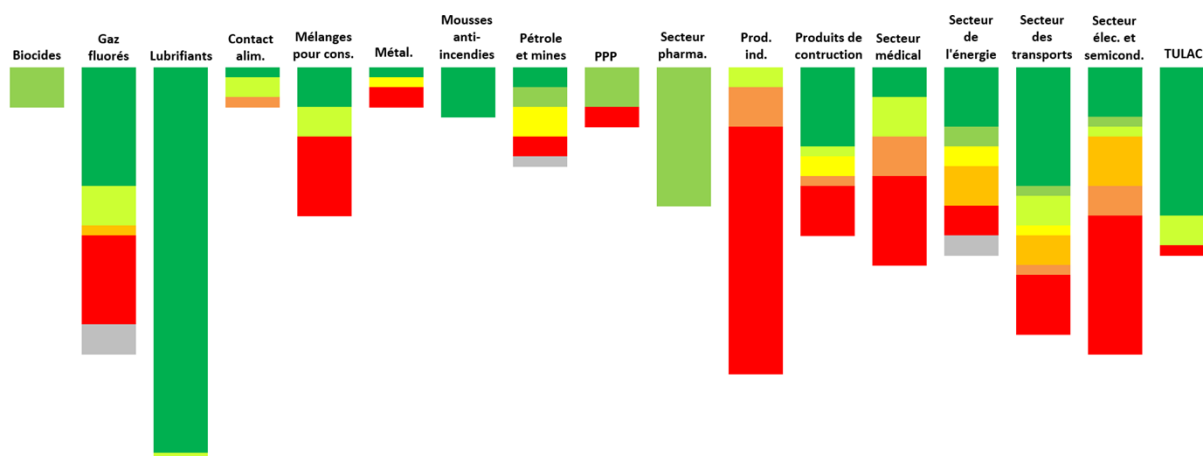


Figure 3 : Synthèse graphique des données portant sur la disponibilité d'alternatives dans chaque secteur (longueur des barres proportionnelle au nombre d'applications référencées ; code couleur présenté ci-dessus)

Cette synthèse permet d'illustrer l'état hétérogène de la disponibilité d'alternatives dans chaque secteur selon les informations capitalisées aujourd'hui. Mais la principale interprétation à en tirer est la nécessité de mener les études de substitution à l'échelle des applications précises ; l'échelle des secteurs ne permettant généralement pas de saisir les enjeux et contraintes associées au recours aux PFAS. Il existe dans tous les secteurs des applications pour lesquelles la substitution est envisageable, et des applications pour lesquelles un travail d'identification de potentiels substitut reste à approfondir.

Il est important de ne faire de cette illustration qu'un éventuel point de départ à des discussions sur les possibilités de remplacer les PFAS sans en sur-interpréter le résultat. Le cas des lubrifiants est pour cela emblématique : de nombreuses alternatives sans PFAS sont aujourd'hui disponibles et présentes sur le marché. Mais lorsque le cahier des charges est très contraint, par exemple lorsque les démarches de certification en vigueur réclament des performances homogènes sur une très large plage de température, les solutions semblent moins nombreuses voire absentes. La disponibilité d'alternatives n'implique pas toujours la possibilité immédiate de substituer les PFAS. C'est pourquoi il est nécessaire d'envisager la réalisation d'études sectorielles plus ciblées : pour préciser les applications, les enjeux, et les compromis tolérables en matière de performances.

6 Conclusion et perspectives

« En raison de leurs propriétés physico-chimiques remarquables, les PFAS comptent aujourd'hui de nombreuses applications dans le secteur... » des textiles, des transports, de la construction, de l'électronique, etc. Ainsi débutent ou pourraient débuter la quasi-totalité des synthèses sectorielles présentées dans ce rapport. Et c'est également la première conclusion à laquelle il parvient : le dossier de restriction universelle des PFAS déposé en janvier 2023 par 4 Etats membres et la Norvège, ainsi que les travaux de compilation remarquables menés dans le projet européen ZeroPM ont permis, ensemble, de prendre la mesure du nombre d'applications reposant sur l'usage des PFAS, et plus généralement de leur imprégnation dans l'activité économique moderne.

Ce rapport constitue essentiellement une synthèse simplifiée de ces travaux et présente des informations sur 1612 substances PFAS (dont 1452 associées à des numéros CAS), 18 secteurs, 80 sous-usages et 269 applications. Une base d'information au format Excel, tirée des travaux de ZeroPM y est également associée.

Une deuxième conclusion de ce rapport est que cet inventaire est vraisemblablement incomplet du fait de l'asymétrie d'informations entre acteurs économiques et autorités publiques. Une partie des 5600 commentaires reçus durant la consultation publique précisent certaines applications, complètent l'inventaire et confirment que les applications sont plus nombreuses encore que ce qui était anticipé.

Ces conclusions demandent par ailleurs parfois à être précisées, ainsi que le montre l'exercice d'inventaire des alternatives présenté dans ce rapport. En effet, à l'échelle des secteurs, il est possible de dresser deux conclusions qui pourraient sembler *a priori* contradictoires : il semble selon une partie des sources d'informations exister et, selon les autres, il semble ne pas exister d'alternatives aux PFAS dans tous les secteurs. Plus exactement, c'est à l'échelle des applications précises qu'il est généralement nécessaire de réaliser le diagnostic – et il est possible de trouver dans chaque secteur des applications pour lesquelles des alternatives semblent disponibles et des applications pour lesquelles ce n'est pas le cas. Par ailleurs, l'incertitude reste élevée tant que l'application n'est pas assez précisément décrite. Il ne faudrait ainsi pas mal interpréter les résultats présentés dans ce rapport sur la disponibilité des alternatives : ils constituent une base de discussion mais peuvent être remis en cause dans certains contextes précis. Par exemple la base d'information indique en général la disponibilité d'alternatives aux PFAS dans les lubrifiants. Mais le contexte d'utilisation, ou des contraintes techniques spécifiques, notamment commandées par la normalisation et impliquant des démarches de certification peuvent rendre le recours à des PFAS actuellement nécessaire.

C'est pourquoi les travaux d'inventaires menés jusqu'ici trouveraient utilement à se poursuivre dans le cadre d'études sectorielles spécifiques, se concentrant sur la description précise des applications et la recherche d'alternatives, notamment là où le dossier de restriction indique un manque d'informations. Une actualisation de la base d'information serait à envisager dans le même temps.

De plus, dans une grande partie des cas, l'analyse des alternatives reste à mener, tant en ce qui concerne l'évaluation de leurs dangers et de leurs impacts environnementaux, qu'en ce qui concerne les niveaux de performance légitimement exigibles.

Ce qui nous conduit à une dernière conclusion : le constat d'un usage à très large échelle est le fruit de la grande polyvalence des substances PFAS associée à des niveaux de performance élevés dans des contextes exigeants. Cette garantie de fiabilité a pu conduire l'industrie à calibrer ses standards sur leur emploi, et les acteurs économiques et la société à y recourir ordinairement, sans évaluation des impacts associés. La mise en évidence progressive des impacts des PFAS sur la santé et l'environnement, associée à des niveaux d'exposition irréversiblement croissants doit conduire à faire le constat de ce « verrouillage » sous-optimal et à interroger les niveaux de performance attendus pour garantir un usage proportionné. Les travaux en cours autour du concept d'« usage essentiel » pourront être éclairants à cet égard [88].

7 Références

Réf. Bibli o	Type de source	Titre	Auteur(s)	An- née	Lien
[1]	Document Reach	Annexe XV	RIVM/KEMI/Norwegian Environment Agency/The Danish Environmental Protection Agency/Federal Institute for Occupational Safety and Health	2023	https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea
[2]	Rapport	Les composés alkyls poly/per fluorés Etat de l'art et enjeux dans un contexte SSP BRGM/RP-69594-FR	BRGM	2020	http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-69594-FR.pdf
[3]	Rapport	Best available techniques for PFOS substitution in the surface treatment of metals and plastics and analysis of alternative substances to PFOS when used in equipment for chromium plating and plastic etching	Agence fédérale allemande pour l'environnement (Umwelt Bundesamt, UBA)	2022	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/best-available-techniques-pfos-substitution_2022_uba.pdf
[4]	Rapport	Fact Cards of Major Groups of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)	OCDE	2022	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/fact_cards_of_major_groups_of_per_and_polyfluoroalkyl_substances_pfass_ocde_2022.pdf
[5]	Rapport	Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Alternatives in Coatings, Paints and Varnishes (CPVs)	OCDE	2022	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/per-and-polyfluoroalkyl-substances-alternatives-in-coatings-paints-varnishes_ocde_2022.pdf
[6]	Rapport	PFAS and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard): Hazard Profile	OCDE	2022	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/pfas_and_alternatives_in_food_packaging_paper_and_paperboard_hazard_profile_2022.pdf
[7]	Rapport	Potential Alternatives to PFASs in Treatments for Converted Textiles or Leathers	DTSC (Department of Toxic Substances Control)	2022	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/dtsc_2022_pfas-textiles_treatments-alternatives.pdf
[8]	Rapport	Reconciling Terminology of the Universe of Per-and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance	OCDE	2021	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/reconciling_terminology_of_the_universe_of_per-and_polyfluoroalkyl_substances.pdf
[9]	Rapport	Spotlight on PFAS	Chemicalwatch	2021	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/spotlight_on_pfas_chemical_watch_2021.pdf
[10]	Rapport	PFASs and alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses	OCDE	2020	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/pfass-and-alternatives-in-food-packaging-paper-and-paperboard_2020_ocde.pdf
[11]	Rapport	The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foam	Wood, Ramboll, COWI pour l'ECHA et la Commission Européenne	2020	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/the_use_of_pfas_and_fluorine-free_alternatives_in_fire-fighting_foam_2020.pdf
[12]	Rapport	Guidance on best available techniques and best environmental practices for the use of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention	PNEU (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)	2017	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/guidance_on_best_available_techniques_and_best_environmental_practices_for_the_use_of_pfos_and_related_chemicals_listed_under_the_stockholm_convention_un_2017.pdf

Réf. Bibli o	Type de source	Titre	Auteur(s)	An- née	Lien
[13]	Rapport	Promotion of PFAS-free alternatives – POPFREE Project	RISE (Research Institutes of Sweden)	2017	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/popfree_final_report_public_2017.pdf
[14]	Rapport	Alternatives to perfluoroalkyl and polyfluoro-alkyl substances (PFAS) in textiles	Danish Ministry of the Environment	2015	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/alternatives_to_perfluoroalkyl_and_polyfluoro-alkyl_substances_pfes_in_textiles_2015_danish_ministry_of_the_environment.pdf
[15]	Rapport	Occurrence and use of fluorinated substances and alternatives	KEMI (Agence suédoise des produits chimiques)	2015	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/occurrence_and_use_of_highly_fluorinated_substances_and_alternatives_0.pdf
[16]	Rapport	Technical paper on the identification and assessment of alternatives to the use of perfluorooctane sulfonic acid, its salts, perfluorooctane sulfonyl fluoride and their related chemicals in open applications	PNEU (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)	2012	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/technical_paper_on_the_identification_and_assessment_of_alternatives_to_the_use_of_perfluorooctane_sulfonic_acid_its_salts_perfluorooctane_sulfonyl_fluoride_and_their_related_chemicals_in_open_applications.pdf
[17]	Rapport	Analyse des risques de présence de per- et polyfluoroalkyles (PFAS) dans l'environnement	IGEDD	2022	https://www.generations-futures.fr/wp-content/uploads/2023/04/014323-01-rapport-pfas-igedd.pdf\\ad.ineris.fr\Verneuil\Organisation\SCI\SCI-EDEN\2023\Rapport PFAS\Biblio\17_014323-01_Rapport IGEDD_Vpubli-min.pdf
[18]	Présentation	PFAS in Non-Stick Coatings: a Life Cycle Perspective	Ian T. Cousins (Université de Stockholm)	2021	https://www.ri.se/sites/default/files/2021-03/2%20A%20Life%20Cycle%20Perspective_PFAS%20i%20nonstick_2021-03-25.pdf
[19]	Rapport	Fluorinated polymers in a low carbon, circular and toxic-free economy	European Topic Center on waste and materials in a green economy	2021	https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cm/products/etc-cme-and-etc-wmge-report-9-2021-fluorinated-polymers-in-a-low-carbon-circular-and-toxic-free-economy/@download/file/EEA%20task%20on%20fluoropolymers_Full%20report_December%2014%202021%20(1).pdf
[20]	Article	Data Descriptor: The Chemical and Products Database, a resource for exposure-relevant data on chemicals in consumer products	Kathie L. Dionisio, Katherine Phillips, Paul S. Price, Christopher M. Grulke, Antony Williams, Derya Biryol, Tao Hong& Kristin K. Isaacs	2018	https://www.researchgate.net/publication/326308276_The_Chemical_and_Products_Database_a_resource_for_exposure-relevant_data_on_chemicals_in_consumer_products
[21]	Article	Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment	Marina G. Evicht [†] , Mary J. B. Davist [†] , James P. McCord [†] , Brad Acrey, Jill A. Awkerman, Detlef R. U. Knappe, Andrew B. Lindstrom, Thomas F. Speth, Caroline Tebes-Stevens, Mark J. Strynar, Zhanyun Wang, Eric J. Weber, W. Matthew Henderson*, John W. Washington*	2022	Science, 2022 Fe, Vol 4; Issue 375 (6580) https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8902460/
[22]	Rapport	Safer Alternatives to PFAS in Food Packaging	Washington State Department of Ecology	2022	https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/2204006.pdf

Réf. Bibli o	Type de source	Titre	Auteur(s)	An- née	Lien
[23]	Article	Baltic Breakfast: Harmful chemicals – which use is essential?	Lisa Bergqvist	2021	https://www.su.se/stockholm-university-baltic-sea-centre/web-magazine-baltic-eye/hazardous-substances/baltic-breakfast-harmful-chemicals-which-use-is-essential-1.603823
[24]	Note	How to introduce the 'Essential Uses' Concept under REACH	Cefic	2021	https://cefic.org/app/uploads/2021/05/2021-05-How-to-introduce-the-%E2%80%98Essential-Uses-Concept-under-REACH-Concept-paper.pdf
[25]	Rapport	Étude des PFAS en mécanique	Cetim/FIM	2022	https://www.cetim.fr/mecatheque/Resultats-d-actions-collectives/etude-des-pfas-en-mecanique-etude-fim-cetim-version-francaise-et-anglaise
[26]	Fichier excel	Base de données sur l'utilisation des PFAS	Cetim	2021	Accès restreint
[27]	Note technique	Managing Risks and Liabilities associated with Perand Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)	CL:AIRE	2019	https://www.claire.co.uk/component/phocadownload/category/17-technical-bulletins?download=668:tb-19-managing-risks-and-liabilities-associated-with-per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfass-2019
[28]	Note	Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS)	Commission Européenne	2020	https://op.europa.eu/o/opportal-service/download-handler?identifiant=2614f1f2-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=
[29]	Rapport	Draft EQS dossier on PFAS	Commission Européenne	2021	
[30]	Rapport	TOWARD A NEW COMPREHENSIVE GLOBAL DATABASE OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs)	OCDE	2018	
[31]	Site internet	PFAS TOX Database	Pelch KE, Reade A, Kwiatkowski CF, Wolffe T, Merced-Nieves FM, Cavalier H, Schultz K, Rose K, Varshavsky		https://pfastoxdatabase.org/
[32]	Article	Filling gaps in science exposes gaps in chemical regulation	Steve C. Gold, Wendy E. Wagner	2020	Science, 5 Jun 2020, Vol 368, Issue 6495 pp. 1066-1068 https://www.science.org/doi/10.1126/science.abc1250
[33]	Article	Finding essentiality feasible: common questions and misinterpretations concerning the "essential use" concept	Cousins, I., J. DeWitt, J. Glüge, G. Goldenman, D. Herzke, R. Lohmann, M. Miller, C. Ng, S. Patton, M. Scheringer, X. Trier and Z. Wang	2021	Environmental Science: Processes and Impacts 23: 1079-1087 https://www.researchgate.net/publication/352703326_Finding_essentiality_feasible_common_questions_and_misinterpretations_concerning_the_essential-use_concept
[34]	Article	Mind the Gap: Persistent and Mobile Organic Compounds - Water Contaminants That Slip Through	Thorsten Reemtsma	2016	Environmental Science & Technology 50. https://www.researchgate.net/publication/307442985_Mind_the_Gap_Persistent_and_Mobile_Organic_Compounds_-_Water_Contaminants_That_Slip_Through
[35]	Base de données	Toward a New Comprehensive Global Database of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)	OCDE		https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjc-svLxe3-AhX3hv0HHdb3AEIQFnoECAoQAAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.oecd.org%2Fchemicalsafety%2Frisk-management%2Fglobal-database-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances.xlsx&usg=AOvVaw3_Hlb0ESrEf2dgKwcnYu6h

Réf. Biblio	Type de source	Titre	Auteur(s)	An-née	Lien
[36]	Article	An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl – Article substances (PFAS)	Glüge, J., M. Scheringer, I. Cousins, J. Dewitt, G. Goldenman, D. Herzke, R. Lohmann, C. Ng, X. Trier and Z. Wang	2020	Environmental Science: Processes and Impacts 22 : 2345-2373.
[37]	Fichier excel	Etat_liste des substances_perfluorées	H. Biaudet	2022	
[38]	Présentation	Evaluating PFAS Use and Alternatives by Sector	Chemsec		
[39]	Rapport	Economic assessment and valuations of environmental and health impacts caused by Perfluorooctanoic acid (PFOA) and its salts	OCDE	2018	https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f5250745-en.pdf?expires=1683816626&id=id&accname=guest&checksum=1A6B1F916C71BB538AC95E3D4CB15CF8
[40]	Rapport	RISK REDUCTION APPROACHES FOR PFAS – A CROSS-COUNTRY ANALYSIS	OCDE	2015	https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFAS.pdf https://ad.ineris.fr/Verneuil/Organisation/SCI/SCI-EDEN/2023/Rapport PFAS/Biblio/40_OECD-Risk_Reduction_Approaches for PFAS.pdf
[41]	Article	How information about hazardous fluorinated substances increases willingness-to-pay for alternative outdoor garments: A Swedish survey experiment	Holmquist, H., S. Jagers, S. Matti, M. Svanström and G. Peters	2018	<i>Journal of Cleaner Production</i> 202. https://www.researchgate.net/publication/326629625_How_information_about_hazardous_fluorinated_substances_increases_willingness-to-pay_for_alternative_outdoor_garments_A_Swedish_survey_experiment
[42]	Article	Fluorinated Compounds in North American Cosmetic	Heather D. Whitehead, Marta Venier, Yan Wu, Emi Eastman, Shannon Urbanik, Miriam L. Diamond, Anna Shalin, Heather Schwartz-Narbonne, Thomas A. Bruton, Arlene Blum, Zhanyun Wang, Megan Green, Meghanne Tighe, John T. Wilkinson, Sean McGuinness, and Graham F. Peaslee	2022	<i>Environ. Sci. Technol. Lett.</i> 2021, 8, 7, 538–544 https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.estlett.1c00240
[43]		RMOA CONCLUSION DOCUMENT - PFAS	Autorities Germany, the Netherlands, Sweden, Norway, Denmark	2021	https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj087HRu-3-AhWO_rslHe8AAWcQFnoECBkQAQ&url=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Fdocuments%2F10162%2Fa59647fb-fcc5-869b-10d4-c14258bbea1d&usq=AOvVaw39HMWhXnrADq97NeSv3NEA
[44]	Rapport	A review of PFAS as chemical class in the textile sector	NRDC	2021	https://www.nrdc.org/sites/default/files/pfas-textile-report-202105.pdf https://ad.ineris.fr/Verneuil/Organisation/SCI/SCI-EDEN/2023/Rapport PFAS/Biblio/44_SAICM report PFAS in Textile final May 2021.pdf

Réf. Biblio	Type de source	Titre	Auteur(s)	An-née	Lien
[45]	Article	Scientific Basis for Managing PFAS as a Chemical Class	Carol F. Kwiatkowski*, David Q. Andrews, Linda S. Birnbaum, Thomas A. Bruton, Jamie C. DeWitt, Detlef R. U. Knappe, Maricel V. Maffini, Mark F. Miller, Katherine E. Pelch, Anna Reade, Anna Soehl, Xenia Trier, Marta Venier, Charlotte C. Wagner, Zhanyun Wang, and Arlene Blum	2020	<i>Environ. Sci. Technol. Lett.</i> 2020, 7, 8, 532–543 https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.estlett.0c00255
[46]	Rapport	THE COST OF INACTION - A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS	Nordic Council of Ministers	2019	https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf
[47]	Rapport	The Social Life of the “Forever Chemical” PFAS Pollution Legacies and Toxic Events	Daniel Renfrew and Thomas W. Pearson	2021	https://www.berghahnjournals.com/downloadpdf/journals/environment-and-society/12/1/ares120109.pdf
[48]	Thèse	Présence et trajectoire historique des composés fluoroalkylés (PFAS) dans les hydrosystèmes continentaux, estuariens et côtiers ...	Nicolas Macorps	2018	https://www.piren-seine.fr/publications/theses/presence_et_trajectoire_historique_des_composes_fluoroalkyles_pfasdans_les
[49]	Article	The True Cost of PFAS and the Benefits of Acting Now	Cordner, A., G. Goldenman, L. Birnbaum, P. Brown, M. Miller, R. Mueller, S. Patton, D. Salvatore and L. Trasande	2021	<i>Environmental science & technology</i> 2021, 55, 9630–9633 https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.1c03565
[50]	Présentation	PFAS: Challenges and Solutions	MEP Christophe Hansen	2021	https://ebcd.org/wp-content/uploads/2021/11/Webinar-Report-PFAS-Challenges-and-solutions-1.pdf
[51]	Présentation	Beauty without PFAS – The implications of the EU Commission’s revision of the Cosmetics Directive & How to futureproof your brand	Chemsec	2021	https://chemsec.org/app/uploads/2021/06/Webinar-slides-Beauty-without-PFAS.pdf
[52]	FTE	Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : PFOS, acide, sels et dérivés	Ineris	2013	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/fte_pfos_acide_sels_et_derives_2013.pdf
[53]	FTE	Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Précurseurs du PFOS	Ineris	2013	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/fte_precurseurs_du_pfos_2013.pdf
[54]	FTE	Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : PFOA (acide perfluorooctanoïque et ses sels, et leurs précurseurs)	Ineris	2015	https://perfluores.substitution.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/fte_pfoa_acide_perfluorooctanoique_et_ses_sels_et_leurs_precurseurs_2015_0.pdf
[55]	Thèse	ECODYNAMIQUE DES SUBSTANCES POLY- ET PERFLUOROALKYLEES (PFAS) DANS LES SYSTEMES AQUATIQUES	Caroline SIMONNET-LAPRADE	2017	https://theses.hal.science/tel-01995545/documenthttps://theses.hal.science/tel-01995545/document
[56]	Site internet	PFAS shop check : In these product types we found PFAS	Forbrugerrådet Tænk		https://taenk-dk.translate.google.com/forbrugertil/bolig/pfas-butikstjek-i-alle-disse-produktyper-fandt-vi-pfas?x_tr_sl=auto&x_tr_tl=en&x_tr_hl=en&x_tr_pto=wapp
[57]	Site internet	Technical resources for addressing environmental releases of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)	Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC)	2022	https://pfas-1.itrcweb.org/2-4-pfas-reductions-and-alternative-pfas-formulations/

Réf. Bibli o	Type de source	Titre	Auteur(s)	An-née	Lien
[58]	Rapport	PFAS in mining and petroleum industry – use, emissions and alternatives	Wood	2021	https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi1mdTit-3-AhWpsKQKHVODDNwQFnoECA8QAAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.miljodirektoratet.no%2Fsharepoint%2Fdownloaditem%3Fid%3D01FM3LD2R3K5XU7HZ275GJ7NKF3DGGZ576&usg=AOvVaw13E_Rld6kCnFKI8u5nhkVs
[59]	Rapport	Application of Fluorinated Gases (F-Gases) in the European Economic Area	Exponent	2021	https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/juli-2021/application-of-fluorinated-gases-f-gases-in-the-european-economic-area/
[60]	Rapport	Per and polyfluorinated chemicals in branded waterproof clothing, footwear, hiking and camping equipment	Kevin Brigden, Manfred Santen, David Santillo - Greenpeace Research Laboratories	2016	https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2016/01/Leaving-Traces-Technical-Report.pdf
[61]	Rapport	Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs)	OCDE	2013	https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf
[62]	Rapport	Evaluation of substances used in the GenX technology by Chemours, Dordrecht	RIVM	2016	https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0174.pdf
[63]	Rapport	THE GLOBAL PFAS PROBLEM: FLUORINE-FREE ALTERNATIVES AS SOLUTIONS FIREFIGHTING FOAMS AND OTHER SOURCES — GOING FLUORINE-FREE	IPEN	2019	https://ipen.org/sites/default/files/documents/the_global_pfas_problem-v1_5_final_18_april.pdf
[64]	Site internet	PFAS Guide	Chemsec	2023	https://pfas.chemsec.org/?use=Piano+keys
[65]	Rapport	PFAS Substitution Guide for textile supply chains	RISE Research Institutes of Sweden	2022	https://www.ri.se/sites/default/files/2022-09/PFAS_Substitution_Guide_for_Textile_Supply_Chains.pdf https://www.ri.se/sites/default/files/2022-09/PFAS_Substitution_Guide_for_Textile_Supply_Chains.pdf
[66]	Rapport	Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Food Packaging Alternatives Assessment	Washington State Department of Ecology	2021	https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/2104004.pdf
[67]	Rapport	Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Food Packaging Second Alternatives Assessment	Washington State Department of Ecology	2022	https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/2204007.pdf
[68]	Fiche	Alternatives to PFAS coated food packaging	Clean Production Action		https://www.cleanproduction.org/images/ee_images/uploads/resources/Alternatives_Food_Packaging_PFAS_Fact_Sheet_CPA_1-23-18_v2_FINAL_with_logos.pdf
[69]	Rapport	Building a better world. Eliminating unnecessary PFAS in building materials	Green Science Policy Institute	2021	https://greensciencepolicy.org/docs/pfas-building-materials-2021.pdf
[70]	Rapport	PFAS IN FIBRE-BASED PACKAGING	Australian Packaging Covenant Organisation	2021	https://documents.packagingcovenant.org.au/public-documents/PFAS+in+Fibre-Based+Packaging
[71]	Rapport	PFAS in chemical products and textiles	KEMI (Agence suédoise des produits chimiques)	2022	https://www.kemi.se/en/publications/pms/2022/pm-2-22-pfass-in-chemical-products-and-textiles
[72]	Rapport	PFASs in Cosmetics	KEMI (Agence suédoise des produits chimiques)	2021	https://www.kemi.se/publikationer/pm/2021/pm-9-21-pfass-in-cosmetics
[73]	Page web	Non-fluoride containing pesticides	ECHA		https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/active-substance-suppliers

Réf. Biblio	Type de source	Titre	Auteur(s)	An-née	Lien
[74]	Rapport	Analysis of PFASs and TOF in products	Nordic Council of Ministers	2017	https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118439/FULLTEXT01.pdf
[75]	Publication	Review of essential use of fluorochemicals in lithographic patterning and semiconductor processing	Christopher K. Ober, Florian Kafer, Jingyuan Deng	2022	https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-micronanopatterning-materials-and-metrology/volume-21/issue-1/010901/Review-of-essential-use-of-fluorochemicals-in-lithographic-patterning-and/10.1117/1.JMM.21.1.010901.full?SSO=1
[76]	Page web	Proposed amendments to the Prohibition of Certain Toxic Substances Regulations, 2018 consultation document: chapter 2	Gouvernement du Canada	2018	https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/proposed-amendments-certain-toxic-substances-2018-consultation/chapter-2.html#toc3
[77]	Rapport	Check Your Tech A guide to PFAS in electronics	ChemSec/WSP	2023	https://chemsec.org/app/uploads/2023/04/Check-your-Tech_230420.pdf https://chemsec.org/app/uploads/2023/04/Excel_ChemSec-Electronics-Guide.xlsx
[78]	Rapport	Nordic working paper Nordic enforcement project on PFOS and PFOA in chemical products and articles	Nordic Council of Ministers	2022	http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1629735/FULLTEXT01.pdf
[79]	Rapport	Nordic working paper Per- and polyfluoroalkylether substances: identity, production and use	Nordic Council of Ministers	2020	https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1648/m1648.pdf
[80]	Rapport	Investigation of outdoor textiles and gear with respect to determine the content of ionic perfluorinated substances (PFASs)	Nordic Council of Ministers	2015	https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2015/februar/investigation-of-outdoor-textiles-and-gear-with-respect-to-determine-the-content-of-ionic-perfluorinated-substances-pfas/
[81]	Rapport	Analysis of per- and polyfluorinated substances in articles	Nordic Council of Ministers	2015	https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m360/m360.pdf
[82]	Rapport	Screening survey of hazardous substances in articles and mixtures	Nordic Council of Ministers	2018	https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m957/m957.pdf
[83]	Fichier excel	ZeroPM alternative assessment database	ZeroPM	2024	https://zeropm.eu/wp-content/uploads/2024/04/ZeroPM_Alternative_Assessment_DB_v2.0.xlsx
[84]	Rapport	Substance flow analysis of PFASs in Denmark – Fianl report	Ministry of Environment of Denmark	2024	https://mim.dk/media/ae3o5ayj/substance-flow-analysis-of-pfas-20-feb.pdf
[85]	Rapport	Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment Chapter R.12: Use description	ECHA	2015	https://echa.europa.eu/documents/10162/17224/information_requirements_r12_en.pdf
[86]	Rapports	OECD Harmonised Templates 301 to 306: Use and Exposure Information	OECD	2023	https://web.archive.oecd.org/2023-07-28/407218-harmonised-templates-use-exposure-information.htm
[87]	Publication	Advancing safer alternatives through functional substitution. Environmental science & technology, 49(2), 742-749	Tickner, J. A., Schifano, J. N., Blake, A., Rudisill, C., & Mulvihill, M. J.	2015	https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es503328m
[88]	Rapport	Revue des données scientifiques et méthodologiques du concept d'usage essentiel, avec comme cas d'étude les PFAS. Ineris – 229262 – 2816719 – v1.0	Ineris	2024	https://www.ineris.fr/fr/revue-donnees-scientifiques-methodologiques-concept-usage-essentiel-comme-cas-etude-pfas

Réf. Biblio	Type de source	Titre	Auteur(s)	An-née	Lien
[89]	Rapport	The use of PFAS and fluorine-free alternatives in textiles, upholstery, carpets, leather and apparel.	Wood, Ramboll et PFA pour la Commission Européenne	2020	https://saicmknowledge.org/sites/default/files/resources/pfas_in_textiles_final_report_en.pdf
[90]	Rapport	Possibilité de substitution des substances employées dans les produits de traitement du bois (TP8) - Enjeux liés aux prochaines décisions d'approbation – Mise à jour Octobre 2022. Ineris - 200353 - 2190503 - v3.0.	Ineris	2022	https://www.ineris.fr/fr/possibilite-substitution-substances-employees-produits-traitement-bois-tp8-enjeux-lies-prochaines
[91]	Communication	Position of the European Human Pharmaceutical and Animal Health Industry on the use of “per- and polyfluorinated alkyl substances” (PFAS) in Europe, in the light of a proposed Restriction under REACH as published	EFPIA, AnimalHealth Europe	2023	https://www.efpia.eu/media/10e1dyty/efpia-ahe-pfas_position_june-2023-final.pdf
[92]	Publication	Implications of PFAS definitions using fluorinated pharmaceuticals	Emily Hammel, Thomas F. Webster, Rich Gurney, Wendy Heiger-Bernays	2022	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004222002905
[93]	Publication	Bacterial degradation of the anti-depressant drug fluoxetine produces trifluoroacetic acid and fluoride ion	Mohd Faheem Khan & Cormac D. Murphy	2021	https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-021-11675-3
[94]	Présentation	Interference and dual legislation of veterinary medicinal products in the EU, PFAS restriction	Animal Health Europe	2022	https://www.simv.org/sites/default/files/interference_with_vmr_and_pfas_final_2_0.pdf

8 Annexes

8.1 Annexe 1 : correspondance entre fonctions techniques et fonctions d'usage

Fonction technique	Fonctions d'usage associées
Agent antiadhésif	Améliorer le démoulage Empêcher l'adhésion à un autre matériau/substance Fournit une résistance à une large gamme de substances Propriétés anti-adhérentes Repousse la saleté Repousse la saleté et l'huile Repousse l'huile
Agent anti-rougeur	Empêcher la saleté et la graisse de se réinstaller sur les surfaces nettoyées
Agent antistatique	Réduire la tendance du produit à acquérir une charge électrique
Agent anti-tâches	Confère au produit un effet antitache
Agent conducteur	Conducteur de courant électrique
Agent de transfert de chaleur	Éliminer la chaleur des composants Éliminer la chaleur d'un espace Fournir de la chaleur à un espace Transférer la chaleur
Agent extincteur	Aide à ralentir la combustion sans laisser de résidus non volatils
Agent imperméabilisant	Assurer l'imperméabilité à l'eau Fournir une imperméabilité à l'eau Fournir une résistance à l'eau aux encres à base d'eau Résiste à l'eau
Agent lubrifiant	Réduire le coefficient de frottement au cours du processus de fabrication Réduire le frottement entre deux surfaces en mouvement Réduire le frottement entre deux surfaces solides
Agent mouillant	Abaisser la tension superficielle avec le matériau Abaisser la tension superficielle de la résine adhésive Abaisser la tension superficielle du produit Abaisser la tension superficielle du produit polymère Abaisser la tension superficielle entre deux composants d'un mélange Aide à la dispersion des pigments Assurer un bon écoulement de l'encre et un bon nivellement Assurer un bon étalement du colorant Augmenter la tension superficielle de l'acide sulfurique Contrôle de l'uniformité des bords dans les revêtements multicouches Empêcher la formation de bulles d'air dans la solution Minimiser la condensation de la vapeur d'eau Prévenir la formation de taches Réduire la tension superficielle Réduire la tension superficielle entre la peinture et la surface Réduire la tension superficielle entre la surface et le revêtement Réduire la tension superficielle entre l'encre et la tête Réduire les imperfections de la surface moulée

Fonction technique	Fonctions d'usage associées
Aide à la transformation	Suppression de la brume
Antimousse	Pas clair
	Contrôler la formation de mousses
	Empêcher la formation de mousses
	Prévenir la formation de mousses pendant le processus
Anti-mousse	Empêcher la formation de mousses
Antioxydant	Fournir un film protecteur au-dessus du métal en fusion
Charge	Ajuster les propriétés physico-chimiques du produit
	Augmenter le volume du produit
	Diluer d'autres ingrédients
Conditionnement de la peau	Maintenir la peau en bon état
Conditionneur de cheveux	Améliorer l'apparence et le toucher des cheveux
Conservateur	Propriétés antialissures
Contrôleur de viscosité	Ajuster les propriétés physico-chimiques du produit
Démêlant	Réduire l'entrelacement des cheveux
Durcisseur	Fournir une résistance mécanique et une résistance à l'abrasion
Émulsifiant	Assurer l'homogénéité du mélange liquide de monomères
Générateurs de photoacides	Contrôle de la production d'acide fort en cas d'exposition à la lumière UV
Incertain	Faible indice de réfraction pour conférer des propriétés antireflet au revêtement
	Pas clair
	Résiste à la dégradation du lubrifiant par les radiations
Inhibiteur de corrosion	Fournir une résistance aux produits chimiques agressifs
	Protéger la surface contre l'oxydation
	Résistance à la corrosion
	Résiste aux produits chimiques agressifs
Inhibiteur d'explosion	Prévenir les risques d'incendie, d'auto-inflammation et d'explosion
Isolant	Empêcher la circulation de l'électricité
	Empêcher la transmission du son
	Empêcher le flux de chaleur
	Empêcher les flux de chaleur et d'électricité
	Empêcher les fuites d'électricité
Liant	Apporter de la structure et de la cohésion au mélange
	Assurer une bonne adhérence des membranes à base de fibres d'amiante
	Assurer une bonne adhérence du revêtement ou de la peinture sur le substrat
	Empêcher les gouttes de couler pendant l'utilisation
	Fournir des propriétés adhésives pendant et après la compression dans les comprimés/gâteaux
Modificateurs de surface	Maintenir la brillance d'une surface
	Veiller à obtenir une surface plane
Mousse	Améliorer la formation de mousses
	Assurer l'expansion des mousses isolantes
	Assurer une bonne expansion des mousses
	Initier et étendre les fractures dans la formation
Propulseurs, non-moteur (agents gonflants)	Expulser des produits d'un récipient sous pression
	Générer de la pression dans un aérosol
Retardateur de flammes	Empêcher l'inflammation en cas d'exposition à la chaleur ou à une flamme
Solvant	Aider à la dispersion des composants

Fonction technique	Fonctions d'usage associées
	Contribuer au pouvoir nettoyant de l'huile et faciliter l'élimination des particules
	Dissoudre d'autres ingrédients
	Dissoudre d'autres substances pour former un mélange uniformément dispersé
Stabilisateur thermique	Résiste aux températures élevées
	Résister à une large gamme de températures
Stabilisateur UV	Résistance à la dégradation par la lumière
Substance active	Agents antinéoplasiques
	Agents de contraste utilisés en radiologie, en IRM et en échographie
	Agir sur le tube digestif et le métabolisme
	Aider les reins à éliminer l'eau et le sel inutiles
	Anesthésiques
	Antidépresseurs
	Antiglaucome
	Anti-inflammatoire et antirhumatismal
	Antiprotozoaires
	Antiviraux (à l'exception des vaccins)
	Contrôle de la croissance et de l'installation d'organismes salissants sur les structures utilisées dans l'eau
	Contrôle de l'homéostasie du calcium
	Contrôle des arthropodes
	Contrôle des souris, des rats ou d'autres rongeurs
	Diminuer le taux de glucose dans le sang
	Diminution de la pression artérielle
	Empêcher la formation de mauvaises herbes ou d'autres plantes indésirables
	Médicament pour la perte de poids
	Pas clair
	Préservation du bois et des produits du bois contre les organismes qui détruisent et défigurent le bois, y compris les insectes
	Prévenir la formation de maladies fongiques
	Prévention des nausées et des vomissements
	Protéger contre les acariens
	Protéger contre les insectes
	Psycholeptiques
	Réduire le risque de formation de caillots sanguins
	Supprime partiellement ou totalement un ou plusieurs facteurs de l'immunosystème
	Thérapie endocrinienne
	Traitement de l'hyperlipidémie
	Traitement de l'hypertrophie bénigne de la prostate
	Traitement de l'ulcère gastroduodéal et du reflux gastro-œsophagien
	Traitement des arythmies
	Traitement des troubles respiratoires
Tensioactifs	Abaisser la tension superficielle de la substance à émulsifier
	Contribuer à la formation de mousse et au moussage du produit
	Créer des mousses aqueuses stables dans les minerais flottants
	Favoriser la dispersion de la solution sur un matériau
	Former un film à la surface d'un liquide brûlant
	Réduire la tension superficielle entre les liquides
Traceur	Possède un marqueur radioactif/isotopique facilement détectable à très faible concentration.

8.2 Annexe 2 : détail de la cartographie présentée en partie 5, p.183.

Tableau 86

Biocides	Produit biocide	Insecticides, acaricides et produits de lutte contre les autres arthropodes
	Produit biocide	Produits antialissures
	Produit biocide	Produits de préservation du bois
	Produit biocide	Rodenticides
Gaz fluorés	Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS)
	Agents gonflants pour mousses	Mousse de polyuréthane rigide
	Agents gonflants pour mousses	Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées
	Agents gonflants pour mousses	Mousse rigide de polyuréthane pour tuyaux et blocs
	Agents gonflants pour mousses	Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée
	Gaz de couverture	Moulage de magnésium
	Propulseurs	Produits de consommation (par exemple, lubrifiant pour chaîne de vélo)
	Propulseurs	Utilisations commerciales et industrielles
	Réfrigération et pompes à chaleur	Pompes à chaleur domestiques et commerciales
	Réfrigération et pompes à chaleur	Réfrigération domestique
		Nettoyage de précision et d'électronique, nettoyage commercial et industriel
	Solvant	Solvants et lubrifiants
	Solvant	
	Autres applications	Refroidissement par immersion de l'électronique
	Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation mobile
	Réfrigération et pompes à chaleur	Réfrigération commerciale
	Réfrigération et pompes à chaleur	Réfrigération industrielle
	Réfrigération et pompes à chaleur	Réfrigération des transports
	Agents gonflants pour mousses	Mousse isolante rigide à cellules fermées PU/PIR
	Agents gonflants pour mousses	Mousse phénolique
	Agents gonflants pour mousses	Peau intégrale en polyuréthane
	Autres applications	Préservation des matériaux culturels à base de papier
	Autres applications	Revêtement par plasma de PEHD
	Produits de lutte contre l'incendie	Agent de diffusion
	Produits de lutte contre l'incendie	Agent d'inondation totale
	Réfrigération et pompes à chaleur	Applications militaires
	Solvant	Liquide de traitement pour l'impression 3D
	Réfrigération et pompes à chaleur	Climatisation domestique, commerciale et industrielle
	Réfrigération et pompes à chaleur	Pompes à chaleur pour sèche-linge
	Réfrigération et pompes à chaleur	Refroidissement électronique, partie d'échangeur de chaleur
Lubrifiants	Additifs pour lubrifiants	Applications pour la perte d'audition
	Additifs pour lubrifiants	Automobile
	Additifs pour lubrifiants	Aviation et aérospatiale
	Additifs pour lubrifiants	Électronique et semi-conducteurs
	Additifs pour lubrifiants	Énergie renouvelable
	Additifs pour lubrifiants	Équipement d'aide aux personnes handicapées
	Additifs pour lubrifiants	Équipement de plongée
	Additifs pour lubrifiants	Équipements hospitaliers
	Additifs pour lubrifiants	Fournitures, équipements et instruments de laboratoire
	Additifs pour lubrifiants	Industrie chimique
	Additifs pour lubrifiants	Papier
	Additifs pour lubrifiants	Pétrole et gaz
	Additifs pour lubrifiants	Plastiques
	Additifs pour lubrifiants	Produits de consommation (par ex. lubrifiant pour chaîne de vélo)
	Additifs pour lubrifiants	Secteur alimentaire
	Additifs pour lubrifiants	Trains
	Huile de base/graisse	Applications pour la perte d'audition
	Huile de base/graisse	Automobile
	Huile de base/graisse	Aviation et aérospatiale
	Huile de base/graisse	Électronique et semi-conducteurs
	Huile de base/graisse	Énergie renouvelable
	Huile de base/graisse	Équipement de plongée
	Huile de base/graisse	Équipements hospitaliers
	Huile de base/graisse	Fournitures, équipements et instruments de laboratoire
	Huile de base/graisse	Horlogerie
	Huile de base/graisse	Industrie chimique
	Huile de base/graisse	Industrie du caoutchouc et du pneu
	Huile de base/graisse	Industrie du gaz en vrac
	Huile de base/graisse	Industrie métallurgique

	Huile de base/graisse	Industrie pharmaceutique
	Huile de base/graisse	Industrie sidérurgique
	Huile de base/graisse	Papier
	Huile de base/graisse	Pétrole et gaz
	Huile de base/graisse	Plastiques
	Huile de base/graisse	Secteur alimentaire
	Huile de base/graisse	Textile
	Huile de base/graisse	Trains
	Huile de base/graisse	Traitement des eaux usées
	Solvant de support	Solvants porteurs
	Huile de base/graisse	Produits de consommation (par exemple, instruments de musique)
Contact alimen- taire	ustensiles de cuisine	Équipement de production de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux
	Emballages	Emballages pour l'alimentation humaine et animale
	ustensiles de cuisine	Articles de cuisine grand public
	Emballages	Emballages non alimentaires
Mélanges pour consommateurs	Lubrifiants	Additifs pour lubrifiants (par exemple pour les chaînes de vélo)
	Nettoyants	Produits de lavage de la vaisselle / produits de rinçage
	Produits d'entretien textiles	Produit d'entretien de tapis pour le marché de l'après-vente
	Traitement de surface	Fart de ski
	Autres applications	Instruments de musique
	Traitement de surface	Cires et produits de polissage (par exemple pour les sols, les voitures)
	Traitement de surface	Traitement des pare-brise
	Autres applications	Agent antibuée
	Encres d'imprimerie	Impression lithographique
	Encres d'imprimerie	Têtes d'enregistrement à encre
	Encres d'imprimerie	Toner et encres d'imprimantes
	Nettoyants	Nettoyage de dispositifs optiques
	Nettoyants	Nettoyants pour le verre, le métal, la céramique, le plastique, les tapis...
	Nettoyants	Produits de nettoyage à sec
	Peintures	Peintures en général
Métal- lisation ...	Fabrication de produits métalliques	Lubrifiant
	Placage de métaux	Chromage
	Placage de métaux	Placage d'autres métaux
	Fabrication de produits métalliques	Fabrication de produits métalliques
Mousses anti- incendies	Mousses anti-incendie	Mousse aqueuse formant un film résistant à l'alcool (AR-AFFF)
	Mousses anti-incendie	Mousse de fluoroprotéine formant un film (FFFP)
	Mousses anti-incendie	Mousse fluoroprotéique
	Mousses anti-incendie	Mousse fluoroprotéique formant un film résistant à l'alcool (AR-FFFP)
	Mousses anti-incendie	Mousses aqueuses filmogènes (AFFF)
Pétrole et mines	Exploration et production de pétrole	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
	Exploration et production de pétrole	Traceurs d'eau et de gaz
	Exploration et production de pétrole	Film de surface aqueux
	Exploration et production de pétrole	Produits chimiques de stimulation
	Applications minières	Équipements
	Exploration et production de pétrole	Équipements
	Exploration et production de pétrole	Produits chimiques de production
	Applications minières	Extraction de minéraux et de minéraux
	Exploration et production de pétrole	Fluide de forage
	Exploration et production de pétrole	Produits chimiques de stimulation
PPP 7	Produits phytosanitaires	Acaricide
	Produits phytosanitaires	Fongicide
	Produits phytosanitaires	Herbicide
	Produits phytosanitaires	Insecticide
	Produits phytosanitaires	Additifs
	Produits phytosanitaires	Inconnu
Princi- pes actifs pharma- ceutiques	Applications santé humaine	Agents antinéoplasiques et immunomodulateurs
	Applications santé humaine	Anti-infectieux à usage systémique
	Applications santé humaine	Divers
	Applications santé humaine	Organes sensoriels

Prod. Indus.	Applications santé humaine	Préparations hormonales systémiques (à l'exception des hormones sexuelles...)
	Applications santé humaine	Produits antiparasitaires, insecticides et répulsifs
	Applications santé humaine	Sang et organes hématopoïétiques
	Applications santé humaine	Système cardiovasculaire
	Applications santé humaine	Système génito-urinaire et hormones sexuelles
	Applications santé humaine	Système musculo-squelettique
	Applications santé humaine	Système nerveux
	Applications santé humaine	Système respiratoire
	Applications santé humaine	Tube digestif et métabolisme
	Applications vétérinaires	Système nerveux
	Fabrication de polymères fluorés	Adjuvant pour la fabrication de polytetrafluoroéthylène (PTFE)
	Fabrication de polymères fluorés	Adjuvant pour la fabrication de poly(vinylidène fluoride) (PVDF)
	Fabrication de polymères fluorés	Adjuvant pour la fabrication de poly(vinyl fluoride) (PVF)
	Fabrication de polymères fluorés	Auxiliaire de transformation de fabrication du polymère perfluoroalcoxy (PFA)
	Fabrication de polymères fluorés	Auxiliaire de transformation de fabrication d'autres fluoropolymères
	Fabrication de polymères fluorés	Auxiliaire de transformation de fabrication pour l'éthylène propylène fluoré (FEP)
	Industrie alimentaire	Caves et laiteries
	Industrie chimique	Durcissement des polymères
	Industrie chimique	Liquides ioniques
	Industrie chimique	Matériel technique
	Industrie chimique	Production d'autres produits chimiques
	Industrie chimique	Production de chlore et d'hydroxyde de sodium via des membranes...
	Industrie chimique	Solvants
	Industrie pharmaceutique	Auxiliaires technologiques pour la fabrication de particules "microporeuses"
	Industrie pharmaceutique	Récipients de réaction, agitateurs et autres composants remplaçant ...
	Industrie photographique	Matériel photographique
	Industrie photographique	Solutions de traitement photographique
	Papier et emballage	Fabrication de pâte à papier, de papier et de produits en papier
	Production de plastique et de caoutchouc	Agent de démoulage dans le gazon artificiel
	Production de plastique et de caoutchouc	Agent de démoulage en général
	Production de plastique et de caoutchouc	Aide à la transformation du chlorure de vinyle (PVC)
	Production de plastique et de caoutchouc	Auxiliaire de transformation de fabrication pour C4-acrylates
	Production de plastique et de caoutchouc	Auxiliaire de transformation de fabrication pour l'éthylène
	Production de plastique et de caoutchouc	Auxiliaires technologiques pour la fabrication de matières plastiques et de résines
	Production de plastique et de caoutchouc	Gravure sur plastique
	Production de plastique et de caoutchouc	Mousse à souffler
	Production de plastique et de caoutchouc	Régulateur de mousse
	Traitement du bois	Fabrication de bois et de produits en bois et en liège
	Traitement du bois	Filtration des fûts
	Traitement du bois	Matériaux de construction en bois
	Traitement du bois	Revêtement pour substrat en bois
Produits de construction	Agents gonflants pour mousses	Mousse de polystyrène extrudée (XPS)
	Agents gonflants pour mousses	Mousse d'isolation rigide en polyuréthane à cellules fermées
	Agents gonflants pour mousses	Mousse rigide de polyuréthane pulvérisée
	Revêtement et peinture	Peinture et revêtement architecturaux
	Revêtement et peinture	Revêtement de métaux prélaqués (acier et aluminium)
	Revêtement et peinture	Revêtement de pales d'éoliennes
	Revêtement et peinture	Revêtement des panneaux solaires
	Scellement et adhésifs	Scellants pour les matériaux poreux et le béton
	Production de polymères non-PFAS appuis de bâtiments et de ponts	Aides à la transformation
	Production de polymères non-PFAS appuis de bâtiments et de ponts	Roulements pour bâtiments et ponts
	Membranes utilisées en architecture	Membranes architecturales
	Fils et câbles	Isolation des câbles électriques et des fils
	Protection du verre	Film/feuille pour serres

	Scellement et adhésifs	Ruban d'étanchéité pour filetage (par exemple, pour les raccords de tuyaux pour les liquides et les gaz)
	Sols	Linoléum résilient
	Sols	Revêtement de sol et de mur
	Sols	Revêtements de sol en plastique stratifié
	Dispositifs médicaux	Emballage de solutions ophtalmiques
	Dispositifs médicaux	Inhalateurs doseurs
	Lubrifiants et additifs	Équipements hospitaliers
	Applications pour la vision	Lentilles ophtalmiques
	Fluides d'ingénierie	Nettoyage
	Fluides d'ingénierie	Solvants et lubrifiants
	Textiles médicaux	Par exemple, les draps chirurgicaux, les blouses, les rideaux
	Dispositifs médicaux	Composants électroniques
	Dispositifs médicaux	Dispositifs médicaux implantables
	Dispositifs médicaux	Fils et câbles
	Traitements	Tubes et cathéters
	Applications pour la vision	Autres dispositifs optiques
	Applications pour la vision	Chirurgie du décollement de la rétine et vitréorétinopathie proliférative
	Applications pour la vision	Résine pour matériaux optiques (par exemple fibres optiques)
	Dispositifs médicaux	Membranes utilisées pour la ventilation des dispositifs médicaux
	Traitements	Dispersants dans les aérosols autpropulsés Produits pharmaceutiques
Secteur de l'énergie	Traitements	Emballage de produits pharmaceutiques sensibles à l'humidité
	Traitements	Produits de traitement des plaies
	Traitements	Solvants dans les produits pharmaceutiques
	Traitements	Supplément à la transfusion sanguine conventionnelle et au sang artificiel...
	Applications pétrolières et gazières	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
	Applications pétrolières et gazières	Traceurs d'eau et de gaz
	Autres applications	Appareils de commutation haute tension
	Energie éolienne	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
	Energie solaire	Film/ruban de revêtement de cellules photovoltaïques
	Piles à combustible PEM	Scellant
	Applications pétrolières et gazières	Film de surface aqueux
	Applications pétrolières et gazières	Produits chimiques de stimulation
	Applications pétrolières et gazières	Équipements
	Applications pétrolières et gazières	Produits chimiques de production
	Batteries à flux	Membranes ioniques, membranes d'échange d'ions
	Batteries lithium-ion	Joints, liants pour électrodes, films/revêtements, additifs pour électrolytes...
	Électrolyseur PEM	Matériaux d'étanchéité
	Piles à combustible PEM	Assemblages d'électrodes à membrane
	Énergie solaire	Capteur solaire
	Piles à combustible PEM	Couche microporeuse
Secteur de l'énergie	Technologies de l'électrolyse	Joint d'étanchéité, tubes, en ligne de tuyaux/réservoirs
	Applications pétrolières et gazières	Fluide de forage
	Energie éolienne	Film/enrobage et câble
	Applications d'étanchéité	Soupapes, joints, pistons, appareils électroniques, électrodes de batteries, etc.
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Automobile
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Aviation et aérospatiale
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Industrie du caoutchouc et du pneu
	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants	Trains
	Protection contre l'incendie	Mousses anti-incendie
	Revêtements et finitions	Matériel de garniture à l'intérieur des véhicules de transport
	Revêtements et finitions	Revêtements stables aux UV pour la protection de la peinture des véhicules...
	Revêtements et finitions	Roulements sans lubrification (par exemple, tendeurs de courroie...
	Revêtements et finitions	Surfaces en verre
	Revêtements et finitions	Textiles à l'intérieur des véhicules de transport
	Système de moteur à combustion	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules
	Génie électrique...	Produits et composants semi-conducteurs
	Construction de carrosseries...	Procédé de placage pendant la construction de la carrosserie, de la coque...
	Systèmes CVC	Climatisation mobile

Secteur électronique et semiconducteurs	Systèmes CVC	Refroidissement par immersion de l'électronique
	Systèmes CVC	Agents de gonflement
	Génie électrique ...	Batteries au lithium-ion
	Génie électrique ...	Piles à combustible PEM
	Systèmes CVC	Réfrigération des transports
	Génie électrique...	Fils et câbles
	Autres applications	Fluides de flottaison dans les gyroscopes
	Fluides hydrauliques	Système de freinage
	Génie électrique...	Composants électroniques
	Revêtements et finitions	Application d'antialissures
	Revêtements et finitions	Essuie-glaces
	Revêtements et finitions	Matériau d'isolation
	Industrie électronique	Lubrifiants et additifs pour lubrifiants
	Industrie électronique	Nettoyage de composants électroniques
	Industrie électronique	Solvant
	Produits et composants semi-conducteurs	Adhésif, revêtement, lubrifiant
	Produits et composants semi-conducteurs	Photorésine
	Produits et composants semi-conducteurs	Plastiques
	Fabrication de semi-conducteurs	Fluides caloporteurs
	Fabrication de semi-conducteurs	Photolithographie
TULAC	Industrie électronique	Batteries au lithium-ion
	Industrie électronique	Fluides caloporteurs
	Industrie électronique	Fluides de flottaison dans les gyroscopes
	Industrie électronique	Piles à combustible PEM
	Fabrication de semi-conducteurs	Équipements de fabrication de semi-conducteurs
	Industrie électronique	Composants électroniques
	Industrie électronique	Fils et câbles
	Fabrication de semi-conducteurs	Centres de données
	Fabrication de semi-conducteurs	Chambres de dépôt de vapeur
	Fabrication de semi-conducteurs	Emballage de semi-conducteurs
	Fabrication de semi-conducteurs	Essai thermique de dispositifs semi-condensateurs
	Fabrication de semi-conducteurs	Feuille de séparation pour le processus de collage par thermocompression...
	Fabrication de semi-conducteurs	Fluide d'aspiration dans la pompe à vide
	Fabrication de semi-conducteurs	Lithographie Nanoimprint
	Fabrication de semi-conducteurs	Nettoyage de plaquettes de silicium et gravure par plasma
	Fabrication de semi-conducteurs	Utilisation de produits chimiques de haute pureté
	Industrie électronique	Agent anti-goutte
	Industrie électronique	Autres produits optiques
	Industrie électronique	Mousse de protection contre l'incendie
	Industrie électronique	Revêtement de composants électroniques
TULAC	Produits et composants semi-conducteurs	Fluoroélastomères
	Applications pour le cuir	Fongicide
	Applications pour le cuir	Produits à base de cuir
	Applications pour le cuir	Vêtements d'intérieur et d'extérieur
	Applications pour le cuir	Vêtements et chaussures de sport professionnels
	Autres applications	Textiles non tissés recouvrant le compartiment moteur des véhicules
	Textiles de maison	Revêtements à base de textile
	Textiles de maison	Rideaux et stores
	Textiles de maison	Tapis et moquettes
	Vêtements de consommation	Accessoires
	Vêtements de consommation	Fongicide
	Vêtements de consommation	Vêtements de plein air
	Vêtements de consommation	Vêtements de sport
	Vêtements de consommation	Vêtements d'intérieur
	Vêtements professionnels	Équipements de protection professionnelle à usage industriel et professionnel
	Vêtements professionnels	Vêtements et chaussures de sport professionnels
	Textile technique	Applications médicales (par exemple, draps chirurgicaux, blouses, rideaux)
	Textile technique	Membranes à haute performance (par exemple, pour l'automobile...
	Textile technique	Textiles techniques pour l'extérieur (par exemple, toiles, auvents, ...
	Traitements textiles	Spray d'imprégnation pour textile
	Traitements textiles	Traitement pendant la production textile

