

Rapport n° 014323-01
Décembre 2022

Analyse des risques de présence de per- et polyfluoroalkyles (PFAS) dans l'environnement

établi par

Hugues AYPHASSORHO et Alby SCHMITT (coordonnateur)

Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

Statut de communication	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input checked="" type="checkbox"/>	Communicable

Sommaire

Résumé.....	6
Liste des recommandations.....	8
Introduction	10
1 Les PFAS : un constat inquiétant.....	11
1.1 Les PFAS, de multiples substances persistantes, mobiles et potentiellement dangereuses	11
1.1.1 Nature chimique des PFAS	11
1.1.2 Comportement et mobilité des PFAS dans l'environnement.....	11
1.1.3 Toxicologie humaine.....	12
1.2 Une caractérisation complexe de la présence des PFAS dans l'environnement.....	14
1.2.1 Méthodes d'analyse spécifiques	14
1.2.2 Méthodes d'analyse globales de familles de PFAS	15
1.2.3 Une absence de méthode pour les analyses des PFAS en phase gazeuse	17
1.2.4 Méthodes de détection non analytiques	17
1.3 De multiples usages des PFAS et des réglementations et normes en construction	18
1.3.1 Des utilisations multiples des PFAS, pas toujours bien cernées	18
1.3.2 Les réglementations portant sur les produits, en fonction de leurs usages.....	18
1.3.3 Les réglementations portant sur certains usages spécifiques	19
1.3.4 La réglementation des émissions et de la qualité du milieu ambiant.....	20
2 Risques de contamination par les PFAS.....	25
2.1 Données et méthodes de cartographie des zones de contamination de l'environnement par les PFAS en France.....	25
2.1.1 Données sur les rejets industriels	25
2.1.2 Données sur les rejets des stations d'épuration urbaines	26
2.1.3 Données sur la contamination des ressources en eau, des sols et des milieux...26	
2.2 Analyse des risques de contamination par les PFAS.....	32
2.2.1 Préalables à une démarche hiérarchisée d'identification des risques de contamination.....	33
2.2.2 Identification et correction des pollutions à moyen et court termes.....	35

3	Dépollution et élimination des PFAS, traitement des eaux potables et limitation des risques de transfert : méthodes actuelles et perspectives.....	40
3.1	Quelles normes pour les eaux, les déchets, les sols et les produits contaminés par les PFAS ?.....	40
3.2	Traitement des PFAS dans l'eau potable	40
3.2.1	Méthodes éprouvées en traitement des eaux potables.....	41
3.2.2	Voies d'amélioration dans les technologies actuelles	41
3.2.3	Technologies émergentes encore en phase d'expérimentation	41
3.3	Dépollution des eaux usées.....	41
3.3.1	Épuration des PFAS dans les eaux usées par les stations d'épuration urbaines	41
3.3.2	Traitements spécifiques des PFAS par les industries.....	42
3.3.3	Traiter à la source les PFAS.....	42
3.4	Dépollution des sols.....	43
3.4.1	Méthodes éprouvées en réhabilitation des sols.....	43
3.4.2	Autres technologies.....	44
3.5	Élimination des PFAS	44
3.5.1	Restreindre la valorisation des déchets contaminés	44
3.5.2	Enfouissement en centre de stockage de déchets dangereux ou non dangereux	44
3.5.3	Traitements thermiques.....	45
3.5.4	Des résidus liquides encore souvent rejetés dans le milieu	45
	Conclusion.....	47
	Annexes.....	48
1	Propositions pour une feuille de route gouvernementale : une approche intégrée de la problématique des PFAS.....	49
1.1	Appliquer les principes généraux d'environnement aux PFAS	49
1.2	Améliorer les connaissances	50
1.3	Améliorer la surveillance des PFAS dans l'environnement	50
1.4	Interpréter les résultats et engager sans tarder les actions de maîtrise du risque les plus urgentes.....	52
1.5	Exploiter et compléter la réglementation actuelle	53

2	Lettre de mission.....	54
3	Liste des personnes rencontrées.....	57
4	Liste des principaux PFAS et leurs acronymes.....	59
5	Les PFAS, de multiples substances persistantes, mobiles et potentiellement dangereuses.....	62
6	Une caractérisation complexe de la présence des PFAS dans l’environnement	66
7	De multiples usages des PFAS et des réglementations et normes en construction .	69
8	Niveaux de contamination des eaux souterraines et superficielles de quelques bassins	71
9	Cartes de concentrations maximales des eaux souterraines françaises en PFOS, PFHxA, PFPeA et PFHpA (sources BRGM)	73
10	Les outils d’identification des sources de PFAS	75
10.1	Base de données ActiviPoll.....	75
10.2	PFAS Screening Tool	76
11	Observations émises lors de l’échange « contradictoire » et suites données dans le rapport de la mission	78
12	Glossaire des sigles et acronymes.....	87

Résumé

Les PFAS ou substances poly ou perfluoroalkylées comptent plusieurs milliers de molécules différentes, toutes de synthèse, dont plusieurs centaines font l'objet de multiples usages allant des émulsifiants pour la lutte contre les feux d'hydrocarbure au traitement de surface des métaux ou aux fluides hydrauliques. Ils sont caractérisés par une chaîne carbonée dont au moins un carbone est complètement substitué par des atomes de fluor. Peu connus, ils ne sont devenus un sujet de préoccupation pour la communauté scientifique et les pouvoirs publics que depuis une vingtaine d'années dans le monde et plus récemment en France. Les risques liés aux PFAS nécessiteraient des actions de communication auprès de tous les publics.

La stabilité chimique des PFAS en fait des substances non dégradées dans l'environnement, persistantes, mobiles et bioaccumulables, qualifiées de « polluants éternels ». La principale voie de contamination humaine et animale est la consommation d'eau, puis d'aliments, ainsi que l'inhalation d'air et de poussières. Leur toxicité est encore méconnue, mais des effets nocifs et toxiques sur le métabolisme humain ont été observés pour plusieurs PFAS et leur caractère cancérigène est suspecté.

La caractérisation de la présence de PFAS dans l'environnement est complexe à la fois du fait de la multitude des substances et des concentrations faibles auxquelles on les rencontre. Les techniques d'analyse sont en cours d'évolution et font l'objet de recherches, en particulier aux Etats-Unis (US EPA). On distingue deux types de méthodes appliquées pour les matrices eaux, sols, sédiments, biote :

- les analyses « spécifiques » visant à détecter et quantifier une substance donnée. Une quarantaine de PFAS peut être analysée avec des limites de quantification désormais très faibles (2 ng/l);
- les méthodes d'analyse « globales » comme le TOP Assay permettent d'estimer la pollution globale en PFAS sans permettre d'identifier les substances de manière individuelle.

Il n'existe pas de méthode d'analyse normalisée des PFAS dans l'air ni dans les fumées (incinérateurs) ce qui constitue une lacune importante sur laquelle travaille actuellement l'US EPA.

La production, la mise sur le marché et l'utilisation du PFOS, du PFOA et du PFHxS sont interdits, sauf dérogation, ou restreints sous conditions par le règlement « POP ». Au titre du règlement « REACH », le PFOA et son sel d'ammonium sont listés en tant que « substances extrêmement préoccupantes ». Au-delà, l'ECHA, agence européenne des produits chimiques, a proposé une restriction d'utilisation de l'ensemble des PFAS pour la production de mousses anti-incendie. Une proposition de restriction REACH portant sur l'ensemble de la classe des PFAS visant un large domaine d'utilisation est attendue en 2023. La mission recommande de soutenir cette proposition.

Toutefois, ces interdictions ou restrictions sur certaines substances conduisent parfois à la substitution par d'autres molécules PFAS à la toxicité méconnue mais présentant les mêmes caractéristiques de persistance que la substance d'origine, mettant les pouvoirs publics dans l'incapacité de vérifier que la substitution conduit à une réduction du risque.

La France ne réglemente aucun PFAS dans le contrôle des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine. La directive européenne du 16 décembre 2020 fixe des teneurs maximales à respecter d'ici janvier 2026 pour les eaux potables pour le total des PFAS (0,50 µg/l) ou pour la somme des 20 PFAS « substances préoccupantes » (0,10 µg/l). La France pourrait utiliser les deux paramètres.

La réglementation française des émissions industrielles encadre encore trop peu les rejets en PFAS et leur suivi en banques de données est quasi-inexistant. Les seules informations disponibles correspondent à quelques points noirs de pollution identifiés dans le rapport ANSES 2011 ou dans le cadre d'enquêtes journalistiques. Il en est de même pour les rejets des stations d'épuration urbaines (seul le PFOS a été suivi ponctuellement par l'INERIS) et pour l'épandage des boues.

Concernant le contrôle de la contamination des milieux aquatiques, seul le PFOS fait l'objet de fixation d'une Norme de Qualité Environnementale européenne. Par ailleurs, le programme français de

surveillance de l'état des eaux devra être étendu, pour les eaux de surface, aux 20 PFAS listés par la Directive EDCH de décembre 2020.

Il n'existe pas de réglementation européenne ni française portant sur les PFAS dans les sols, ni de critères de qualité des sols pour les PFAS. La situation est identique en matière de qualité de l'air.

Les analyses de PFAS dans les eaux de surface et souterraines des réseaux des agences de l'eau sont stockées respectivement dans les banques de données NAIADES et ARES. Malgré un recul limité à 2017, ces bases permettent des premiers constats : une contamination générale faible des eaux mais avec quelques « points noirs », une contamination des nappes touchant principalement les nappes alluviales illustrant une origine essentiellement ponctuelle des PFAS via des rejets en rivières, l'identification des PFAS les plus fréquemment détectés (PFOS, PFOA, PFHxA, PFHxS, PFHpA, PFPeA, 6:2 FTS, ...). Elles permettent de premières cartographies de contamination au plan national et par bassins.

Les données sont plus rares sur d'autres matrices : le PFOS et des fluorotélomères ont été détectés dans les sédiments, notamment au voisinage des aéroports ou de sites de lutte contre l'incendie.

Les actions de correction à court ou moyen termes des pollutions par les PFAS passent par une identification hiérarchisée des sites potentiellement émetteurs de PFAS, anciens ou actuels. L'approche recommandée consiste à croiser :

- une démarche remontant « de la cible à la source », en exploitant les données d'analyse des milieux mobilisant en premier lieu des analyses globales (TOPA) de type screening puis, sur cette base, des analyses spécifiques,
- avec une démarche descendant « de la source vers la cible », en identifiant les activités sources de pollution et en imposant aux activités concernées (industrielles, STEU, épandages de boues, sites d'entraînement à la lutte contre les incendies, ...) de mener une étude sur leurs utilisation et émissions de PFAS et proposant des mesures de réduction d'utilisation et de remédiation d'impacts. L'inventaire des grands incendies d'hydrocarbures devra également être achevé.

Malgré l'absence actuelle de normes de potabilisation de l'eau portant sur les PFAS, quelques unités de traitement existent déjà, mobilisant des techniques éprouvées, principalement l'adsorption sur charbon actif ou les résines échangeuses d'ions et l'osmose inverse. Mais leur efficacité se borne à piéger les PFAS dans une autre matrice, sans les détruire. Le problème du devenir des PFAS ainsi « séparés » de l'eau persiste. D'autres techniques font actuellement l'objet de recherches.

L'élimination des PFAS avant rejet dans le milieu aquatique apparaît très peu maîtrisée aujourd'hui. Les PFAS résistent aux traitements épuratoires classiques et les stations d'épuration dédiées aux PFAS sont très rares. Elle relève de traitements tertiaires de même nature que ceux évoqués pour l'eau potable, avec les mêmes limites : il s'agit seulement d'un « piégeage » de PFAS en charbon actif ou concentrat, au devenir problématique, et non d'une destruction.

La réhabilitation des sols pollués aux PFAS relève de la politique classique des sites et sols pollués avec des techniques connues (isolement-couverture, confinement hydraulique, excavation et élimination, ...) et d'autres restant au stade de la recherche.

Le traitement des PFAS présents dans les fumées ne semble actuellement pas pris en compte (pas de normes, pas de méthodes d'analyse, ...).

La seule méthode de destruction fiable des PFAS consiste en un traitement thermique. Les températures d'incinération nécessaires pour les détruire sont encore en débat entre scientifiques (900°C ou 1 300 °C ?). De nombreux incinérateurs d'ordures ménagères pourraient ne pas atteindre une température suffisante et constituer une source de contamination par voie atmosphérique.

La mission a constaté, que de nombreuses recherches restent nécessaires sur les PFAS, justifiant la mise en place d'un réseau scientifique et d'un programme dédiés. Au-delà, la mission recommande l'établissement d'une feuille de route formalisée listant les actions à mener pour une meilleure maîtrise des contaminations par les PFAS.

Liste des recommandations

- Recommandation 1. Mettre en place au sein des réseaux scientifiques et techniques des ministères chargés de l'environnement et de la santé une mission de veille technologique et scientifique sur les progrès en matière d'analyse et de connaissance en toxicologie des PFAS et promouvoir à l'échelle européenne ou internationale, ou à défaut nationale, un nouveau programme de recherche dédié à ces domaines (DEB, DGPR, DGS).17**
- Recommandation 2. Œuvrer pour une restriction dans le cadre de REACH conduisant à une interdiction d'usage, de production et d'importation de l'ensemble des PFAS, considérés comme une classe unique (DGPR, DEB).....20**
- Recommandation 3. Œuvrer pour l'adoption au plus tôt de normes européennes de qualité et de rejets (flux et concentration) dans l'eau et l'air et de normes de contamination des produits et déchets en PFAS (DGPR, DEB)24**
- Recommandation 4. Achever l'inventaire des grands incendies d'hydrocarbures depuis les années 50 et sur les sites d'entraînement à l'utilisation de mousses AFFF civiles et militaires. Identifier les sites pouvant avoir pu être pollués par l'infiltration de mousses contenant des PFAS (DGSCGC, DGPR, SDIS, DGAC, Ministère de la Défense).....34**
- Recommandation 5. Systématiser sur les principaux sites émetteurs en activité, en cessation d'activité ou à l'arrêt une recherche hiérarchisée des PFAS, avec mobilisation dans un premier temps de méthodes génériques (du type TOPA) ou analyse du risque de présence de PFAS, puis dans un second temps, là où auront été détectées des possibilités de contamination, mise en œuvre d'analyses spécifiques (DGPR, DEB, DGS).34**
- Recommandation 6. Les gestionnaires de bases de données sur les PFAS dans l'environnement (OFB, BRGM, DGS) doivent œuvrer au rapprochement de leurs bases de données ou à la création d'une interface transparente au regard de l'origine des données.....35**
- Recommandation 7. Faire connaître au public et aux acteurs de l'environnement la problématique des PFAS dans l'environnement et les risques qu'ils présentent, leur présence dans les produits de tous les jours ainsi que l'importance de la prise en considération de cet enjeu (DGPR, DEB).....35**
- Recommandation 8. Engager une opération nationale d'identification et de maîtrise des émissions de PFAS sur l'ensemble des sites émetteurs potentiels par arrêté ministériel et parachever l'action RSDE. Engager une démarche de maîtrise du risque sur chaque site émetteur identifié et sur les principaux enjeux contaminés :**

captages d'eau potable et zones d'aménagement urbain (DGPR, DEB, DGS).....38

Recommandation 9. Travailler en priorité sur la réduction à la source des émissions de PFAS (substitution dans le process, réduction des pertes, traitement au plus près de leurs émissions) (DGPR, DEB).43

Recommandation 10. Sortir les déchets réputés contaminés par les PFAS des filières de recyclage et limiter l'acceptation de ces déchets aux seules installations adaptées : incinération à forte température (> 900°C, voire plus), « sarcophages », centres d'enfouissement de déchets garantissant l'élimination des PFAS rejetés dans ses lixiviats et émissions atmosphériques (DGPR).46

Recommandation 11. Mettre en place une feuille de route formalisée sur les PFAS et un pilotage national par les administrations centrales du programme d'action qui en sera issu, avec l'appui des acteurs compétents (DGPR, DEB, DGS).47

Introduction

La contamination de l'environnement par les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), constitue une problématique qui a émergé dans les années 90 aux Etats-Unis, avant de s'étendre à différents pays européens du nord et à l'Italie puis d'intéresser la France. Ces substances constituent un enjeu environnemental et sanitaire fort du fait de leur nombre et de leur diversité, de leur caractère très persistant et ubiquiste, de leur mobilité dans l'environnement et pour certains de leur toxicité et de leur cancérogénicité, suspectée ou avérée.

Par lettre de mission en date du 8 février 2022, la ministre chargée de l'environnement a demandé au conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEED), aujourd'hui inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) :

- de présenter une analyse de présence de PFAS dans les différents compartiments environnementaux, sur la base des rapports existants ;
- de faire des propositions quant aux études et recherches à mener pour disposer de méthodes de caractérisation de la présence de ces substances dans l'environnement, quant aux moyens de limiter les risques de transfert vers les eaux, de tester plus efficacement les eaux et effluents contaminés et de réhabiliter les sites contaminés.

La mission a rencontré les principales administrations concernées (DGPR, DEB, DGS, DGSCGC). Elle a auditionné les établissements publics des réseaux scientifiques et techniques concernés des ministères chargés de l'environnement et de la santé, les fédérations des entreprises de la chimie et des services à l'environnement et d'autres acteurs de l'environnement (ONG, services extérieurs du MTE, Agences de l'eau ...).

Elle a procédé d'octobre à décembre 2022 à la phase d'échanges « contradictoires » pour soumettre ses analyses et recommandations à la DGR et à la DEB. Le tableau en annexe 10 recense les observations formulées et les suites données.

La mission s'est appuyée sur différents rapports et feuilles de routes d'agences nationales, européennes et américaine, ainsi que sur la bibliographie technique et scientifique.

Dans un premier temps, le rapport rappelle la nature et le comportement des PFAS dans l'environnement (chapitre 1.1), les méthodes de caractérisation des PFAS (chapitre 1.2), leurs usages et les réglementations applicables (chapitre 1.3). Dans un second temps, il présente les données et méthodes de cartographie des zones de contamination en France et propose une approche hiérarchisée de l'analyse des risques de contamination de l'environnement (chapitre 2). Enfin, il analyse des méthodes de traitement et d'élimination des PFAS (chapitre 3).

Dans toutes ces parties sont précisées les limites actuelles de notre connaissance et des méthodes disponibles pour l'analyse, le suivi et le traitement des PFAS.

Enfin, en conclusion, le rapport propose une approche intégrée de la problématique des PFAS, aboutissant à une proposition de feuille de route synthétisant les principales propositions et recommandations (annexe 1).

1 Les PFAS : un constat inquiétant

1.1 Les PFAS, de multiples substances persistantes, mobiles et potentiellement dangereuses

1.1.1 Nature chimique des PFAS

Les PFAS (substances poly ou perfluoroalkylés) sont des composés de synthèse à chaîne carbonée, où au moins un atome de carbone est complètement substitué par des atomes de fluor. Leur caractérisation chimique plus précise est abordée en annexe 5, mais on peut globalement distinguer des PFAS polymères et des PFAS non polymères, ces derniers étant les plus utilisés. Ils comprennent, entre autres :

- les PFCA : acides carboxyliques perfluorés (exemple le PFOA : acide perfluorooctanoïque) ;
- les PFSA : acides sulfoniques perfluorés (exemple le PFOS : acide perfluorooctane sulfonique) ;
- les polyfluorés, dont les fluoro-télomères (FTS), désignés sous le terme générique de « précurseurs ».

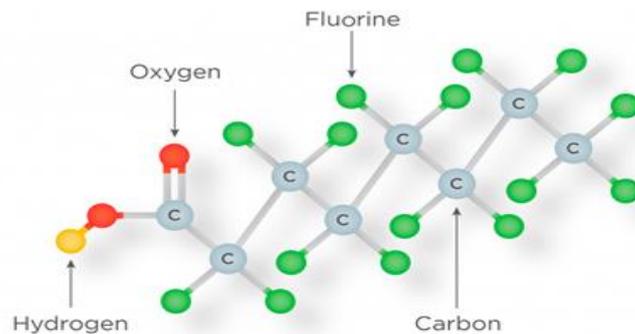


Figure 1 : Exemple de formule chimique d'un PFAS, (PFOA : $C_8HF_{15}O_2$)

Il existe des milliers de molécules de PFAS différentes qui présentent toutes une grande stabilité chimique les faisant parfois qualifier de « polluants éternels » et se traduisant par une grande résistance à la dégradation (thermique, biologique, photolytique), une forte persistance dans l'environnement et une potentialité élevée de bioaccumulation.

Les propriétés tensioactives et de grande résistance à la chaleur des PFAS connaissent de multiples applications industrielles

1.1.2 Comportement et mobilité des PFAS dans l'environnement

Les études sur les propriétés, le comportement dans l'environnement, l'écotoxicité et la toxicité sur l'homme des PFAS sont principalement limitées au PFOS, au PFOA et au PFHxS (acide polyfluorohexane sulfonique). Les connaissances sont parcellaires et insuffisantes sur tous les autres, notamment les « précurseurs », appellation qui masque une méconnaissance de la diversité des substances concernées, de leur dégradation dans l'environnement en PFAS perfluorés, qui eux sont persistants.

Les PFCA et PFSA sont des acides forts et sont donc présents dans l'environnement principalement sous forme anionique (de sels carboxylates ou sulfonates) : ceci leur confère une solubilité relativement

importante, plus élevée que celles des organochlorés ou organobromés, ce qui en fait des polluants mobiles dans l'environnement.

Le comportement des PFAS dépend fortement de la structure de chaque molécule, qui influence son niveau de solubilité ou à l'inverse, sa propension à s'adsorber sur les particules de sols ou les MES dans l'eau, et la part des émissions gazeuses. Dès lors, il est difficilement envisageable de proposer une typologie comportementale des PFAS. Mais il reste possible d'établir des schémas comportementaux généraux, par exemple en lien avec la longueur de la chaîne carbonée : plus elle compte un nombre élevé d'atomes de carbone, plus la capacité d'adsorption de la molécule sera élevée (cf. § 2.2.2.3).

Cette variabilité des comportements explique qu'on observe à la fois la persistance de pollutions accumulées sur des sites d'utilisation ou de rejet de PFAS (dans les sols, les couches aquifères souterraines), mais aussi des panaches de dispersion de certaines pollutions aux PFAS par voies aquatiques (nappes, cours d'eau) ou atmosphériques.

La masse moléculaire élevée des PFAS polymères leur confère une faible mobilité dans l'environnement qui fait qu'ils ne constituent pas, de manière directe, les PFAS les plus préoccupants. Toutefois, ils ont des persurances variables dans l'environnement et sont souvent dégradés en PFAS à chaîne plus courte, comme le PFOA ou le PFOS, et leur dégradation par incinération peut être à l'origine de polluants dans l'atmosphère.

En matière de contaminations animale et humaine, les concentrations dans les urines et le sérum sanguin sont également très variables, avec des amplitudes de deux ordres de grandeur selon l'exposition, en particulier des travailleurs et des pêcheurs (en lien avec la consommation de poissons d'eau douce). D'après l'étude Esteban¹, il apparaît que le niveau d'imprégnation sérique par le PFOS de 4,03 µg/l en moyenne observé en France était légèrement inférieur à celui observé aux Etats-Unis (Nhanes), au Canada (ECMS) et en Espagne (BioAmbient.ES). Les niveaux moyens observés en France de 2,08 µg/l pour le PFOA, de 1,37 µg/l pour le PFHxS et de 0,80 µg/l pour le PFNA, étaient du même ordre de grandeur que dans les autres pays (cf. en annexe 5, tableau 8).

1.1.3 Toxicologie humaine

Les caractéristiques de comportement des PFAS conduisent à une contamination des organismes vivants, dans la nature et en élevage, ainsi que de l'homme. Les voies de contamination avérées concernent la consommation d'eau et d'aliments et l'inhalation de l'air et de ses poussières. Le principal mode d'exposition aux PFAS reste l'eau potable ou les aliments pollués, qui pourraient être contaminés par des ustensiles de cuisine, des emballages alimentaires ou par des sources résiduelles de PFAS dans l'environnement.

Chez l'homme, l'élimination des PFAS à chaîne longue (PFOA, PFOS, PFHxS) peut prendre plusieurs années, celle des chaînes courtes peut prendre quelques semaines voire quelques jours, le temps d'exposition influençant la toxicité potentielle². Ces temps d'élimination conditionnent évidemment la bioaccumulation.

Il existe encore une controverse sur le degré de toxicité dans le corps humain et il est encore trop tôt pour comprendre complètement les effets de l'exposition aux PFAS. Les scientifiques ont cependant observé différents effets avec plusieurs PFAS : toxicité hépatique et rénale, diabète, obésité, hypercholestérolémie, effets immunitaires, hématologiques et sur la reproduction, effets sur le développement neurologique et le développement des cancers chez les animaux exposés. Ainsi,

¹ Santé Publique France, septembre 2019

² Le sulfonate de perfluorobutane (PFBS) a une demi-vie de quelques heures, elle est de près de 20 jours pour le PFOS. Des analyses ont été effectuées avec des résultats similaires, pour le PFOA, l'alcool fluorotélomérique 8:2 (8:2-FTOH), l'acide perfluorohexane-1 sulfonique (PFHxS), l'acide perfluorohexanoïque (PFHxA) et l'acide perfluorodécanoïque (PFDA).

plusieurs PFAS agissent comme des perturbateurs endocriniens³. Les PFAS peuvent également favoriser la nécrose des cellules du foie, l'hépatomégalie, l'atrophie splénique et interférer avec la respiration mitochondriale.

Le PFOA et ses sels d'ammonium ont été reconnus comme substances préoccupantes (SVHC) dès 2013 et classé par l'IARC⁴ en catégorie 2B « cancérigène possible pour l'homme ».

Certains PFAS traversent le passage placentaire, ce qui expose le fœtus au PFAS, en cas d'exposition maternelle, avec des effets négatifs sur divers processus de développement : aux PFOS, PFOA et PFNA ont été associés un faible poids à la naissance, une réponse immunitaire altérée dans la petite enfance, un risque de fausse couche (PFDA), d'accouchement prématuré et de pré éclampsie (PFOS). Des études in vitro et in vivo ont montré que l'exposition aux PFAS a des effets négatifs sur les processus biologiques essentiels de l'ovaire, tels que la folliculogénèse et la stéroïdogénèse, ainsi que la diminution conséquente de la réserve ovarienne, qui sont également liées aux cycles menstruels irréguliers et plus longs, aux règles tardives et à la ménopause précoce.

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a réévalué en 2020 le seuil d'exposition acceptable pour quatre PFAS les plus courants (PFOA, PFOS, PFNA et PFHxS), qui existait depuis 2008, pour fixer cette limite d'exposition en dose hebdomadaire tolérable (DHT) à 4,4 ng/kg pc (poids corporel), soit 0,63 ng/kg/j. L'EFSA a ainsi divisé le seuil d'exposition tolérable aux PFAS par plus de 2500, pour tenir compte de nouvelles études.

L'ANSES avait, dans l'étude EAT⁵ 2 publiée en 2011, identifié des expositions moyennes chez l'homme de 0,66 ng/kg pc/j en PFOS et 0,74 ng/kg pc/j en PFOA (hypothèse haute), valeurs situées au niveau du seuil d'exposition acceptable selon l'EFSA. Ces seuils n'ont qu'une valeur indicative.

Conformément à l'une des priorités identifiées dans sa « feuille de route » (cf. infra) relative aux évaluations de la toxicité sur l'homme de plusieurs PFAS, l'US EPA publie des revues sur l'évaluation sanitaire de molécules PFAS, faisant une synthèse des connaissances scientifiques. Après avoir publié en 2016 celles du PFOA et du PFOS, elle a publié en 2021 celle de l'acide perfluorobutane sulfonique et perfluorobutane sulfonate (PFBS) et le 13 janvier 2022 l'évaluation de la toxicité des 2 PFAS connus sous le nom commercial de GenX⁶, ayant remplacé les PFOA dans certains usages et réputés avoir un impact sur la santé humaine comme sur les écosystèmes. L'US EPA utilise des valeurs de dose ingérable de référence chronique ou sub-chronique estimant à partir des données scientifiques les quantités d'une substance chimique qu'un individu peut ingérer par jour pendant sa vie (chronique) ou pendant une durée plus réduite (sub-chronique) sans endurer d'effets négatifs sur sa santé.

PFAS	Dose ingérable de référence chronique (ng/kg pc/jour)
GenX	3
PFBS	300
PFOA	20
PFOS	20

Tableau 1 : Doses ingérables de référence - Source : US-EPA - Office of Water – Oct. 2021 - NB : L'US EPA est en cours de réévaluation de la toxicité du PFOA et du PFOS.

La toxicité suspectée du GenX est bien plus élevée (dose ingérable de référence 7 fois plus faible) que

³ Dans le rapport INERIS-OFB de juin 2021 le PFOS est indiqué comme à « preuves d'activité endocrine dans la littérature scientifique » mais aucune évaluation collective n'a eu lieu pour cette substance.

⁴ International Agency for Research on Cancer.

⁵ EAT : étude de l'alimentation totale.

⁶ HFPO : acide dimère de l'hexafluoropropylène oxyde et son sel d'ammonium.

celle du PFOA : ceci illustre combien la pratique de certains industriels consistant au remplacement de PFAS connus et réglementés par d'autres PFAS moins bien connus ne constitue pas toujours une solution satisfaisante et peut au contraire conduire à des risques sanitaires encore plus élevés.

On constate que ces valeurs US EPA sont supérieures à celles de l'EFSA (pour PFOA et PFOS, 20 ng/kg pc/j pour US EPA, contre 0,63 ng/kg pc/j pour EFSA), ce qui traduit une estimation de toxicité plus faible.

1.2 Une caractérisation complexe de la présence des PFAS dans l'environnement

On distingue deux approches différentes pour caractériser la présence des PFAS : l'une consiste en des analyses ciblées portant sur une substance donnée, appelées ci-dessous « méthodes spécifiques », l'autre consiste à évaluer un ensemble cumulé de substances PFAS et sont appelées « méthodes globales ».

Seules les grandes lignes en sont présentées ci-dessous (voir l'annexe 6 pour plus de détails).

1.2.1 Méthodes d'analyse spécifiques

Compte-tenu de la multitude des substances PFAS et de la faiblesse des concentrations auxquelles on les trouve dans l'environnement et les organismes vivants et auxquelles elles sont susceptibles d'avoir des impacts, l'amélioration des techniques de détection et quantification de ces substances est de première importance. L'identification de concentrations de l'ordre du ng/l (10⁻⁹g/l, c'est-à-dire une partie par milliard (1 ppb)) constitue un challenge technologique nécessitant le respect de procédures très précises, depuis le prélèvement jusqu'à l'analyse.

Il existe des méthodes d'analyse « normalisées » des PFAS à l'échelon international comme à l'échelon français. Elles émettent des préconisations depuis la phase d'échantillonnage jusqu'aux protocoles d'analyse en passant par une étape d'extraction⁷ qui la précède généralement pour permettre l'enrichissement en substance, en condition de faibles concentrations.

Chaque méthode a sa sensibilité analytique, ce qui conduit à déterminer une limite de détection (LD) : c'est la concentration minimale à partir de laquelle une méthode donnée est capable d'affirmer qu'un PFAS donné est présent dans l'échantillon, mais à trop petite dose pour être quantifié. Une limite de quantification (LQ) est également définie comme la concentration minimale à partir de laquelle une méthode donnée est capable de donner une valeur de dosage d'un PFAS dans l'échantillon.

On peut ainsi exprimer la contamination d'un milieu soit directement en utilisant les valeurs statistiques des concentrations analysées (moyennes, médianes, ...), soit en utilisant les fréquences de quantification (dépassement ou non de la LQ).

Les LQ pour l'agrément des laboratoires d'analyses des eaux et des milieux aquatiques ont été fixées, pour 7 PFAS seulement, à 10 ng/l en 2019 puis à 2 ng/l depuis le 1er janvier 2022. Ceci illustre le caractère évolutif du cadre d'analyse des PFAS dans un contexte d'évolution rapide des méthodes analytiques.

Ces changements de LQ intervenus depuis la mise en place des suivis et contrôle des PFAS dans les milieux se traduisent par des variations dans la signification des résultats lorsqu'ils sont exprimés en fréquences de quantification : même si les LD évoluent également avec les progrès des techniques analytiques, il semble donc préférable d'exprimer autant que possible les données de suivi chronologique de contamination par les PFAS en utilisant les valeurs de concentrations mesurées.

Au-delà, de nombreux laboratoires dans le monde, en particulier l'US EPA, et quelques-uns en France (INERIS, ANSES, universités, CNRS, ...) s'intéressent à l'amélioration des méthodes d'analyse des PFAS.

⁷ Extraction liquide/solide, plus rarement liquide/liquide ou plus récemment méthode SPE (Solid Phase Extraction) éventuellement par automate programmable.

1.2.1.1 Une méthode dominante : la chromatographie liquide haute performance couplée spectrométrie de masse en tandem, pour les PFAS anioniques

AQUAREF, consortium français⁸ et laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques, a produit en 2010 puis en 2018 des fiches de référence qui détaillent le protocole recommandé pour la filtration, l'extraction et l'analyse en chromatographie liquide ultra-haute performance couplée à un spectromètre de masse en tandem (UHPLC/MS/MS).

Cette méthode permet de doser les acides sulfoniques perfluorés (PFSA) et les acides carboxyliques perfluorés (PFCA) de C4 à C14 et plusieurs fluorotélomères (FT) dans les matrices eaux, sols, sédiments, boues...

Elle ne permet d'analyser de manière précise que les molécules pour lesquels des étalons marqués commerciaux sont fournis par les laboratoires spécialisés, à savoir seulement quelques dizaines de PFAS, souvent moins de 30, sur un potentiel de substances de plusieurs milliers.

La diminution des valeurs de LD de PFAS dans les années récentes, en particulier pour l'analyse des eaux où les concentrations recherchées sont souvent beaucoup plus faibles que dans les sols, témoigne d'une amélioration issue des recherches en cours de la précision, tant des méthodes de préparation que d'analyse des PFAS, qui atteint des niveaux très performants. L'US EPA a déployé une activité importante de développement de méthodes d'analyse des PFAS dans différentes matrices et de validation de ces méthodes par tests inter-laboratoires. Ainsi les méthodes EPA 537 et 533 dédiées à l'analyse respectivement de 14 et 21 PFAS dans les eaux potables, publiées respectivement en 2009 et 2019, ainsi que la SW-846 Method 8327, validée pour l'analyse de 24 PFAS dans les eaux non-potable. Pour améliorer sa précision, l'EPA a publié en août 2021 la méthode EPA 1633 utilisant le dosage par dilution isotopique (voir annexe 6) pour l'analyse de 40 PFAS dans les eaux naturelles. Sa LQ pour la plupart des PFAS est de 1,6 ng/l pour les matrices aqueuses et de 0,2 ng/g pour les matrices solides. Cette méthode semble appelée à devenir une référence.

1.2.1.2 Une méthode adaptée aux PFAS neutres et volatils : la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

Pour les PFAS neutres (cas général des fluorotélomères) et volatils, tels que le perfluorooctane sulfonamide (FOSA) et ses dérivés ou les fluorotélomères alcools et leurs intermédiaires réactionnels (FTCA, FTUCA), présents sous formes non anioniques, le dosage par HPLC ne convient pas. La méthode la plus souvent utilisée consiste en une micro-extraction sur phase solide et une analyse en chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (SPME-GC/MS), avec ionisation par une source à ionisation chimique.

1.2.1.3 Des développements de méthodes « sur mesure »

Des méthodes analytiques spécifiques ont parfois dû être développées lorsque des rendements d'extraction très faibles ($\leq 50\%$) étaient obtenus avec la méthode décrite au 2.1.1 en UPLC /MS/MS. L'ANSES a ainsi adapté une méthode de dosage du 6:2 FTAB (sulfonamide alkylbétaine du 6:2 fluorotélomère) et du M4⁹.

1.2.2 Méthodes d'analyse globales de familles de PFAS

En application de la directive du 16 décembre 2020 sur les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH), la Commission européenne doit établir, au plus tard le 12 janvier 2024, des lignes directrices

⁸ Entre BRGM, INERIS, INRAE, IFREMER, LNE, OFB.

⁹ Par injection directe en colonne de chromatographie liquide avec une quantification par la méthode des ajouts dosés en étalonnage externe

techniques relatives aux méthodes d'analyse pour la surveillance des PFAS, en vertu des paramètres « Total PFAS » et « Somme PFAS »¹⁰, y compris concernant les limites de détection, les valeurs paramétriques et la fréquence d'échantillonnage. Ces lignes directrices techniques feront référence pour ce qui concerne l'analyse des PFAS dans les eaux.

Plusieurs facteurs plaident en faveur de la mise en point de méthodes de caractérisation globale des PFAS :

- les réglementations tendent de plus en plus à fixer des teneurs maximales pour le total des PFAS ou de groupes de PFAS¹¹ ;
- les précurseurs (souvent moins dangereux) finissent par se dégrader en perfluorés (préoccupants) : c'est donc bien l'ensemble des familles qu'il faudrait doser ;
- les nouvelles contraintes réglementaires se traduisent souvent par la substitution des molécules PFAS par d'autres molécules PFAS (éventuellement non moins préoccupantes) dans les process industriels¹² ;
- parmi la multitude des PFAS seuls quelques-uns sont étudiés dans leurs comportements physico-chimiques, toxicologiques et éco toxicologiques ;
- plusieurs travaux scientifiques suggèrent que les analyses spécifiques limitées à certaines molécules les plus identifiées conduisent à ne prendre en compte qu'une part, éventuellement faible, des PFAS (notamment les fluorotélomères ne sont pas identifiés).

Deux principaux types de méthodes ont été développés, soit par oxydation des échantillons (carboxylation) suivie d'une analyse spécifique des PFAS générés, soit par analyse du fluor.

Méthode par oxydation TOPA (ou essai TOP)

Pour permettre une analyse de l'ensemble des PFAS, la méthode TOPA (Total Oxidizable Precursors Assay) consiste à provoquer l'oxydation des précurseurs¹³, pour les transformer en PFCA et PFSA dosés suivant la technique décrite au 1.2.1.1 ci-dessus et en annexe 6.

La méthode TOPA est facile à mettre en œuvre pour les eaux naturelles, les rejets de STEU et est expérimentée pour les sols ; elle donne d'incontestables résultats : les concentrations de PFAS avec TOPA sont accrues de 28 à 69 % par rapport à l'analyse sans TOPA, démontrant la prise en compte d'une quantité importante de précurseurs. Mais elle ne permet de détecter que les PFAS s'oxydant en PFCA et PFSA ; or, pour certains FT les rendements sont très éloignés des 100 %.

De plus, dans le cas de matrices complexes, présentant un mélange de nombreux PFAS, l'oxydation fonctionne avec une efficacité moindre et conduit donc à une sous-estimation de la valeur réelle.

La méthode TOPA nécessite encore des recherches pour son amélioration et sa généralisation.

Méthodes par analyse du Fluor Total ou du Fluor Organique Total

Deux techniques sont principalement utilisées à ce jour, l'une par dosage du fluor organique extractible (EOF), l'autre par dosage du fluor organique adsorbable (AOF). Cette méthode s'applique sur différentes matrices mais elle n'offre qu'une vue incomplète de la teneur globale en PFAS d'un échantillon, que ce soit à l'égard de molécules neutres et volatiles (rendement <30%) ou pour les composés à chaîne perfluorée longue. La limite de quantification de la méthode est de 1 µg/l de fluor, ce qui pose également un problème de sensibilité.

Des recherches restent nécessaires pour abaisser la limite de quantification de la méthode et améliorer

¹⁰ Somme des 20 PFAS « substances préoccupantes » listées à l'annexe III-B-3 de la directive EDCH.

¹¹ Exemple de la directive européenne EDCH du 16/12/2020 qui fixe une concentration maximale de 0,10 µg/l pour le cumul de 20 PFAS les plus préoccupants.

¹² Exemple de la substitution du PFOA par le GenX par Chemours.

¹³ Oxydation à chaud au persulfate en milieu basique.

sa sensibilité.

Il convient également de s'interroger sur la spécificité de ces analyses qui mesurent la totalité du fluor organique, qu'il soit issu de PFAS ou d'autres substances organofluorées (HFC, CFC, HCFC...).

Autres méthodes

Une nouvelle approche est en cours de développement par une équipe de l'université d'Harvard (Sunderland, Ruyle, ...) couplant analyse chimique et analyse statistique permettant de prendre en compte les précurseurs, l'origine de leur fabrication et de mesurer leur concentration :

1. Mesure du fluor organique total dans l'échantillon
2. Oxydation des précurseurs, transformation en formes terminales de PFAS et mesure de ces dernières
3. Sur ces résultats, application de l'analyse statistique.

Cette méthode permettrait de quantifier la totalité des PFAS. Les tests pratiqués dans un bassin versant exposé à l'utilisation de mousses anti-incendie montreraient que cette méthode permettrait d'analyser de grosses quantités de PFAS qui n'étaient pas prises en compte par les analyses classiques. Les résultats restent à publier (attendu dans Environmental Science & Technology/Know-how).

1.2.3 Une absence de méthode pour les analyses des PFAS en phase gazeuse

Il n'existe actuellement aucune méthode normalisée de prélèvement et d'analyse des PFAS en France, ni en Europe, ni semble-t-il dans le monde, pour les rejets gazeux émis par les activités industrielles ni pour l'air ambiant. La volatilité des différentes substances PFAS peut *a priori* varier fortement en fonction principalement de leur masse moléculaire, voire aussi de leur polarité.

Ce domaine relève actuellement de la recherche, principalement aux Etats-Unis, où l'EPA travaille à un projet de normalisation. En France, aucune recherche de mise au point de méthode ni de norme n'a été initiée, que ce soit par des appels à projets nationaux ou européens.

1.2.4 Méthodes de détection non analytiques

Dosage MBAS

Le dosage des substances actives au bleu de méthylène, ou dosage MBAS, utilise une quantification des PFAS anioniques par spectrométrie UV-visible ou kit-test de terrain. Cette méthode très simple et peu onéreuse n'apparaît utilisable que pour certains screenings car elle est peu spécifique et ne permet de détecter que des concentrations de PFAS supérieures à 10 µg/l.

La quantification de polluants, notamment de PFAS, par utilisation de capteurs optiques fait l'objet de développements (voir en annexe 6).

En conclusion de ce chapitre 1.2, la mission formule une recommandation :

Recommandation 1. Mettre en place au sein des réseaux scientifiques et techniques des ministères chargés de l'environnement et de la santé une mission de veille technologique et scientifique sur les progrès en matière d'analyse et de connaissance en toxicologie des PFAS et promouvoir à l'échelle européenne ou internationale, ou à défaut nationale, un nouveau programme de recherche dédié à ces domaines (DEB, DGPR, DGS).

1.3 De multiples usages des PFAS et des réglementations et normes en construction

1.3.1 Des utilisations multiples des PFAS, pas toujours bien cernées

Les usages des PFAS sont nombreux : imperméabilisants pour les cuirs et textiles, papiers et emballages traités, enduits pour textiles et peintures, autres produits tels que les détergents, biocides (appâts pour fourmis et blattes), industrie photographique, photolithographie, semi-conducteurs, fluides hydrauliques, traitements de surface des métaux, pièces exposées à haute température (durites, etc.) ...

Ils font appel à environ 600 des 5 000 molécules de PFAS existantes. De nombreux usages ont recours à des mélanges de plusieurs molécules de PFAS et certaines fabrications génèrent des impuretés à l'origine de rejets difficiles à identifier. Certains usages mobilisent des PFAS en quantités très faibles.

Les sources d'émission identifiées en France comptent quelques points de rejets industriels (à Pierre-Bénite, Villers-St-Paul, Ternay, ...), d'ancien sites d'incendies à hydrocarbure où la lutte contre le feu a nécessité l'utilisation de mousses contenant des PFAS (Port Edouard Herriot à Lyon, Lubrizol, ...), mais sont également d'origine diffuse liée à l'utilisation des produits traités avec ces substances et à leur élimination (lixiviation des centres d'enfouissement, rejets des effluents de stations de traitement d'eaux usées, pertes dans l'atmosphère lors de la combustion, épandages de boues d'épuration contaminées aux PFAS, épandages de pesticides agricoles contenant des PFAS (le sujet des pesticides potentiellement concernés est très mal documenté, ce qui justifierait la mise en place d'une enquête auprès des fabricants), retombées des émissions atmosphériques, etc.).

Des réglementations peuvent porter sur certaines substances PFAS, sur certains usages, sur des rejets, et des normes à respecter peuvent être définies pour certains milieux.

1.3.2 Les réglementations portant sur les produits, en fonction de leurs usages

1.3.2.1 Le règlement REACH

Le règlement européen REACH (n°1907/2006) vise à sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques en recensant, évaluant et contrôlant les substances chimiques fabriquées, importées et mises sur le marché européen, à hauteur de plus d'une tonne par an. Toutefois, les polymères sont actuellement exemptés des processus d'enregistrement ou d'évaluation de REACH. Dans le cadre de la revue de la réglementation REACH en cours, la commission a proposé de réintégrer les polymères dans les obligations d'enregistrement et d'évaluation. Cette évolution pertinente devait aboutir début 2023, mais la commission a récemment décidé de la différer.

L'annexe XVII du Règlement REACH (relative aux « restrictions », voir en annexe 7 de ce rapport) réglemente de façon très restrictive la vente et l'utilisation du PFOS, depuis le 27 juin 2008. Seules certaines utilisations sont autorisées, par dérogation, dans la photographie, les fluides hydrauliques, l'aviation et le traitement de surface de métaux.

Le PFOA et ses sels sont également réglementés par cette annexe XVII depuis le 14 juin 2017, avec une restriction différée au 4 juillet 2023 pour quelques utilisations dans les domaines de la santé, la sécurité, ... et au 4 juillet 2032 pour les dispositifs médicaux.

REACH identifie également dans son annexe XIV (relative aux « autorisations ») des substances dites « extrêmement préoccupantes » (« Substances of very high concern »), au nombre de 219 : il s'agit de substances en cours d'examen pour une éventuelle interdiction (voir annexe 7). Le PFOA, ses sels d'ammonium et le PFHxS en font partie.

L'agence européenne des produits chimiques (ECHA) mise en place par REACH réalise aussi des

expertises et des propositions. Elle a ainsi publié le 23 mars 2022 un rapport de proposition de restriction sur l'utilisation des PFAS dans les mousses anti-incendie¹⁴ qui conclut qu'une restriction via REACH serait nécessaire : même si certains PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS, PFHxA) sont déjà l'objet de restrictions ou en passe de l'être, le rapport de l'ECHA propose une restriction portant sur toute la classe des PFAS utilisées pour la production de mousses anti-incendie.

De nombreux PFAS ne sont pas pris en compte par REACH, notamment les fluorotélomères, malgré les tonnages importants utilisés.

1.3.2.2 Le règlement POP (polluants organiques persistants)

Le règlement POP issu de la convention de Stockholm interdit sauf dérogations (annexe I) ou restreint sous conditions (annexe II) la production, la mise sur le marché et l'utilisation de substances qualifiées de polluants organiques persistants. Le PFOS, le PFOA et récemment le PFHxS sont concernés.

Le PFOS est classé comme interdit (annexe I POP) depuis 2009, le PFOA depuis juillet 2020 et le PFHxS depuis juin 2022. Ils ont été remplacés dans certains usages industriels par d'autres PFAS de la même famille à chaînes plus courtes (comme le GenX, le PFBS, ...).

Les interdictions ou restrictions imposées par le règlement POP peuvent porter sur les substances en tant que telles, ou lorsqu'elles sont sous forme de constituants d'articles, ou incorporées dans des préparations au-dessus de certains seuils¹⁵.

1.3.3 Les réglementations portant sur certains usages spécifiques

1.3.3.1 L'usage eau potable et les futures normes sanitaires : des concentrations maximales réglementées dans les eaux destinées à la consommation humaine

Contrairement à d'autres pays, la France ne réglemente aucun PFAS par l'une des listes de paramètres qui existent pour le contrôle des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11/01/2007), que ce soit au titre de « limite » ou au titre de « référence de qualité ». Pourtant depuis 2015, des avis et rapports ANSES proposent d'instaurer des concentrations maximales de 0,075 µg/l en PFOA et 0,18 µg/l en PFOS dans les eaux de boisson.

L'annexe I de la directive européenne EDCH (eaux destinées à la consommation humaine) 2020/2184 du 16 décembre 2020 fixe des teneurs maximales à respecter d'ici janvier 2026 pour les eaux potables :

- pour le total des PFAS : 0,50 µg/l ;
- ou pour la somme des 20 PFAS « substances préoccupantes listées à l'annexe III-B-3 » de la directive EDCH : 0,10 µg/l.

La directive EDCH doit être transposée en droit français avant janvier 2023. Elle prévoit un contrôle à partir de 2026. La France aura, comme les autres Etats membres, le choix d'utiliser les paramètres « Total PFAS » ou « Somme PFAS ». Il semblerait qu'elle s'oriente actuellement sur l'utilisation des deux paramètres.

A titre indicatif, les valeurs guides pour l'eau potable définies en Allemagne et par l'US EPA sont respectivement de 0,30 µg/l (total PFOS + PFOA) et de 0,20 µg/l (PFOS).

Les seuils d'exposition qui ont été fixés pour les PFAS (voir chapitre 1.1.3) n'ont qu'une valeur indicative.

¹⁴ Annex XV restriction report – PFASs in firefighting foams

¹⁵ Pour le PFOS par exemple, les seuils ont été fixés à : 10 mg/kg dans des mélanges ou 0,1 % en masse calculée à partir de la masse de parties contenant des PFOS ou, pour les textiles ou les autres matériaux enduits, si la quantité de PFOS est inférieure à 1 µg/m² du matériau enduit.

1.3.3.2 Usages divers

Le règlement UE 10/2011 relatif aux matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires fixe des limites d'utilisation (sels d'ammonium du PFOA, PFPOA ou des limites de migration spécifique (en mg de substance par kg de denrée alimentaire).

Depuis juillet 2020, la réglementation du Danemark a interdit l'usage des PFAS dans les emballages alimentaires. De telles dispositions n'existent pas en France.

Le 16 juillet 2021, l'État du Maine, dans le nord-est des États-Unis, a promulgué une loi très ambitieuse, qui interdit, dès 2030, toute utilisation de l'ensemble des PFAS.

La proposition de l'ECHA d'une restriction pour interdire la mise sur le marché, l'utilisation et l'exportation de tous les PFAS dans les mousses anti-incendie est en consultation publique depuis le 23 mars 2022 ; elle permettrait, pour un coût estimé d'environ 7 milliards d'euros pour la société, de réduire les émissions de PFAS dans l'environnement de plus de 13 000 tonnes sur 30 ans.

Cinq pays européens (Allemagne, Danemark, Pays-Bas, Suède et Norvège) devraient déposer auprès de l'ECHA une proposition de restriction qui porte également sur l'ensemble de la classe des PFAS. Elle viserait des domaines plus larges de production, de mise sur le marché et d'utilisation.

La mission constate que, exception faite de quelques substances PFAS les mieux connues, il n'existe pour une majorité d'entre elles pas de méthode d'analyse validée ni de données de toxicologie et qu'aucune solution d'élimination fiable n'existe ce jour. Ceci plaide pour la mise en place de restrictions d'utilisation couvrant toute la classe des PFAS.

Recommandation 2. Œuvrer pour une restriction dans le cadre de REACH conduisant à une interdiction d'usage, de production et d'importation de l'ensemble des PFAS, considérés comme une classe unique (DGPR, DEB).

1.3.4 La réglementation des émissions et de la qualité du milieu ambiant

1.3.4.1 Evaluation environnementale des projets, plans et programmes

Conformément à l'article L122-1 du code de l'environnement, précisé par l'article R122-5, l'évaluation environnementale des projets doit décrire et apprécier les incidences notables directes et indirectes du projet, par référence à l'état initial, en situation de fonctionnement normal et dégradé, et en situation accidentelle, notamment sur la population et la santé humaine, les terres, le sol, l'air et l'eau. Elle doit présenter en particulier les substances utilisées, les émissions de polluants et de déchets, les risques générés pour la santé humaine ainsi que les moyens mis en œuvre pour les éviter ou les réduire et décrire le suivi qui sera effectué sur ces rejets et leurs impacts, y compris sanitaires. Force est de constater que les évaluations environnementales ne font qu'exceptionnellement état de l'usage, de la production, de rejets ou de la présence de PFAS et donc de leurs impacts et de leur suivi dans l'environnement¹⁶.

¹⁶ L'Autorité environnementale (Ae) n'a pas connaissance d'étude d'impact évoquant le terme de PFAS, y compris pour des projets de stations d'épuration ou visant la gestion de sédiments de sols ou de nappes polluées, notamment par des eaux d'extinction d'incendie contenant des PFAS...

1.3.4.2 Les rejets industriels

L'arrêté du 2 février 1998¹⁷ portant sur les émissions d'une majorité d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation ne cite qu'un seul PFAS, le PFOS, en fixant une valeur limite de concentration dans les eaux rejetées au milieu naturel de 25 µg/l. S'agissant d'une substance dangereuse de la DCE visée par un objectif de suppression des émissions, une réduction maximale doit être recherchée et l'exploitant doit tenir à disposition de l'inspection des installations classées les éléments en attestant (article 22 2° III).

C'est également le cas de plusieurs arrêtés dits « sectoriels »¹⁸, à l'exception d'arrêtés de prescription de secteurs *a priori* non concernés comme l'élevage ou les carrières. Au-delà, des concentrations maximales de rejets de substances dangereuses par les ICPE peuvent être fixées au cas par cas dans le cadre des arrêtés préfectoraux d'autorisation des ICPE, initiaux ou modificatifs, sur la base de la production de l'étude d'impact initiale ou de son actualisation, étude d'impact qui ne traite cependant absolument pas aujourd'hui du risque PFAS.

Ces mêmes arrêtés prévoient (article 34 pour l'arrêté du 2 février 1998) que le raccordement à une station d'épuration collective, urbaine ou industrielle, n'est envisageable que dans le cas où la station d'épuration est apte à traiter l'effluent industriel dans de bonnes conditions. L'étude d'impact ou l'étude d'incidence doit comporter un volet spécifique relatif au raccordement attestant de cette aptitude. La majorité des stations d'épuration ne traitant pas les PFAS (cf. chapitre 3), les rejets de PFAS par les industriels dans les réseaux d'assainissement collectif ne devraient en théorie pas pouvoir être autorisés sauf à démontrer que leur rejet dans l'environnement ne présente pas d'impact significatif, mais la pratique est toute autre.

La plateforme GEREP est l'outil réglementaire appliqué au titre de l'arrêté ministériel du 31 janvier 2008¹⁹ (mis à jour) où les exploitants d'ICPE soumises à autorisation ou à enregistrement (mais aussi des stations urbaines) ont l'obligation de télé-déclarer leurs données annuelles de rejets aqueux et atmosphériques, chroniques comme accidentels, et de production de déchets²⁰ dès lors qu'ils portent sur des polluants répertoriés à l'annexe II de l'arrêté du 31 janvier 2008 et qu'ils dépassent les seuils fixés dans cette annexe. Aucun PFAS n'est intégré. Dès lors, on ne trouve dans cette base que quelques données de rejets de PFOS, déclarées à titre volontaire, principalement par des collectivités (quasiment pas d'établissements industriels). En outre, la base de données GEREP n'est pas ouverte en accès libre au grand public.

La base de données Géorisques gérée par le BRGM comporte un volet ayant vocation à recueillir les données de rejets et transferts de polluants déclarés au titre du « registre des émissions polluantes ». Il est ouvert au public en accès libre. Les établissements soumis et les polluants concernés par cette déclaration sont listés dans un arrêté ministériel²¹. Il apparaît là-aussi qu'aucun PFAS n'est intégré dans ce dispositif et qu'aucun rejet en PFAS n'est recensé dans la base Géorisques.

La base GIDAF de « Gestion Informatisée des Données d'Auto-surveillance Fréquente » collecte les résultats d'auto-surveillance des rejets faits par les ICPE²². Elle ne porte que sur le PFOS et le PFOA. Elle permet d'identifier quelques établissements à l'origine de rejets importants en PFOS dans les eaux superficielles : OGD à Vouvray (37) avec des pics de concentrations mesurés dans les rejets à 25 µg/l de PFOS et 51 ng/l de PFOA, Aretzia à Paimboeuf (44) avec des pics de concentrations de 42 µg/l de

¹⁷ Modifié, notamment par l'arrêté TREP1713284A du 24 août 17.

¹⁸ Arrêtés dit « [papetier](#) » du 10 septembre 2020, « [traitement de surface](#) » du 30 juin 2006, « [incinération](#) » du 20 septembre 2002...

¹⁹ Arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et de transferts de polluants et des déchets

²⁰ Et/ou de prélèvements d'eau.

²¹ Arrêté du 26 décembre 2012 pour transposition en droit français du règlement (CE) n° 166/2006 du 18 janvier 2006 concernant la création d'un registre européen des rejets et des transferts de polluants, dit règlement E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register).

²² Soumises par arrêté à auto-surveillance.

PFOS et 14 ng/l de PFOA ou Sarrel à Marolles-les-Braults (72) avec des pics de concentrations de 9,3 µg/l de PFOS. Ce sont des établissements de traitement et élimination des déchets dangereux qui sont à l'origine des concentrations les plus élevées. Par contre GIDAF n'intègre pas de données sur les fluorotélomères, qui constituent les tonnages les plus importants de PFAS utilisés et rejetés par les industriels.

Le registre des émissions polluantes des ICPE est donc pour l'heure partiellement inopérant pour les PFAS.

L'arrêté du 17 décembre 2019 relatif aux meilleures techniques disponibles (MTD) applicables à certaines installations de traitement de déchets relevant du régime de l'autorisation et de la directive IED²³ impose à l'exploitant la surveillance de ses effluents aqueux pour un certain nombre de substances : deux PFAS seulement relèvent de cette obligation, le PFOS et le PFOA. Aucune surveillance de PFAS n'est prévue dans les rejets gazeux.

1.3.4.3 Les rejets des stations d'épuration urbaine et les épandages de boues

Les rejets des stations de traitement des eaux usées urbaines (STEU) sont réglementés par les textes issus de la directive cadre sur l'eau (DCE) et de la directive eaux résiduaires urbaines (DERU) qui mettent en place un autocontrôle par le gestionnaire de la STEU et un contrôle par les services en charge de la police de l'eau. L'arrêté ministériel du 21 juillet 2015²⁴ ne prévoit de normes ni de prescriptions pour aucun PFAS. Il en est de même pour l'arrêté du 8 janvier 1999 modifié fixant les prescriptions techniques sur les épandages de boues. Toutes ces prescriptions pourraient être précisées dans les arrêtés initiaux ou modificatifs, sur la base de la production de l'étude d'impact initiale ou de son actualisation, étude d'impact qui ne traite cependant pas aujourd'hui du risque PFAS.

L'arrêté du 21 juillet 2015 rappelle l'obligation faite au maire ou président de l'EPCI : il « assure la police du système de collecte et met en œuvre dans ce cadre les principes de prévention et de réduction des pollutions à la source, notamment en ce qui concerne les micropolluants ». Cette prescription générale concerne potentiellement les PFAS mais s'avère inappliquée faute d'informations et de moyens à la disposition des élus pour la mettre en œuvre : une procédure de transmission systématique des informations GERE au maire pourrait utilement être mise en place lorsque GERE intègrera des données PFAS.

1.3.4.4 Eaux de surfaces et eaux souterraines

La DCE a conduit à fixer des normes de qualité environnementale moyennes et maximales et à mettre en place un réseau de surveillance de l'état des eaux.

Concernant les PFAS, la directive européenne 2013/39/EU Substances prioritaires pour la politique de l'eau, du 12 août 2013, n'intègre une Norme de Qualité Environnementale²⁵ que pour le PFOS et ses dérivés : NQE dans les eaux de surface intérieures, de 0,65 ng/l en moyenne annuelle (MA) et 36 µg/l en concentration maximale admissible (CMA). Elle en fixe également dans les autres eaux de surface et dans le biote. Ces valeurs sont utilisées dans le contexte de la DCE pour caractériser, avec d'autres paramètres, l'état chimique des masses d'eau. Leur dépassement ne se traduit que par l'attribution d'une classe de qualité mauvaise.

Ces NQE devront être respectées au plus tard fin 2027. La NQE de 0,65 ng/l se heurte aujourd'hui aux contraintes de mesure dans l'eau, les limites de quantification étant supérieures à ce chiffre : le critère européen aurait été temporairement fixé à 0,1 µg/l pour le PFOS comme pour le PFOA dans le cadre de

²³ Directive européenne sur les Émissions Industrielles.

²⁴ Arrêté relatif à relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif modifié par l'arrêté du 31 juillet 2020, article 3.

²⁵ EQS (European quality standards)

la refonte de la directive NQE.

Le programme de surveillance de l'état des eaux de la France récemment révisé par arrêté du 26 avril 2022 intègre :

- pour les eaux souterraines, les 20 PFAS listés par la Directive EDCH de décembre 2020 ;
- pour les eaux de surface, le PFOS en annexe II listant les substances prioritaires devant être surveillées au titre de la DCE dans l'eau, le biote et les sédiments, et 4 PFAS (dont le PFOA) dans l'annexe III sur les substances pertinentes complémentaires à surveiller dans les eaux pour la métropole. La mission s'est interrogée sur les motifs qui ont conduit les services à ne pas intégrer les 20 PFAS de la directive EDCH dans la liste annexe III des paramètres suivis pour les eaux de surface, sachant que ces dernières constituent 40% des ressources utilisées pour l'eau potable.

La précédente version de l'arrêté « surveillance » (arrêté du 17 octobre 2018) intégrait déjà la surveillance de 6 PFAS²⁶ pour les eaux souterraines et 4 PFAS pour les eaux de surface²⁷ (substances prioritaires + complémentaires) ; les agences de l'eau alimentent donc les bases de données NAIADES et ADES avec les données suivies depuis 2018.

Les LQ de ces substances sont fixées à 2 ng/l depuis le 31 décembre 2021 (avis du ministère de la transition écologique et solidaire paru au JORF du 21 août 2021, NOR : TREL1924024V).

La France, contrairement à d'autres pays, notamment européens, n'a pas défini de « critère de qualité » pour les PFAS en eaux de surface comme souterraines, au-delà du PFOS imposé par l'UE fin 2027 : notamment rien pour le PFOA. Ceci peut s'expliquer lorsqu'on observe l'ampleur de la fourchette de valeurs pour les critères de qualité des pays qui en ont adoptés.

Certaines agences de l'eau, comme Seine Normandie ont produit des seuils écotoxicologiques de référence utilisés pour leurs besoins propres. Ainsi, le Guide micropolluants AESN fournit un seuil d'écotoxicologie aquatique de 0,23 µg/l pour le PFOS et 30 µg/l pour le PFOA. La comparaison de ces seuils avec les valeurs de contamination mesurées semble montrer que des effets toxiques sur la faune ou la flore aquatique sont probables.

L'utilisation du seul réseau de surveillance piézométrique, pour rechercher les pollutions par les PFAS peut poser problème dès lors qu'il s'agit essentiellement de pollutions ponctuelles (cf. chapitre 2.1.3) : toutes les masses d'eau souterraines ne sont pas suivies et ces masses d'eau peuvent se composer de nappes hydrauliquement indépendantes. Le piézomètre lui-même ne contrôle que son secteur d'alimentation, de surface très limitée. Une approche complémentaire sur les émergences de nappe les plus importantes permettrait de préciser le niveau de pollution sur tout un secteur de nappe, l'aire d'alimentation de ces émergences, bien plus vaste que celle d'un piézomètre. Cette approche bénéficiera de l'extension prochaine des mesures des 20 PFAS à beaucoup de captages AEP.

1.3.4.5 Sols

Il n'existe pas de réglementation européenne portant sur les PFAS dans les sols, mais une stratégie européenne pour les sols 2030 a été publiée le 17 novembre 2021. Elle prévoit de s'intéresser à la contamination des sols par les substances dangereuses, ce qui devrait concerner les PFAS.

Dans ce domaine également, la France n'a pas défini de critères de qualité pour les PFAS, contrairement à d'autres pays. Les valeurs seuils pour les sols, dans les pays où elles existent, concernent de manière restrictive essentiellement le PFOS et le PFOA. Dans quelques pays, comme le Canada, des valeurs seuils de risque ont été établies en fonction de l'usage des sols (agriculture, zones industrielles, zones d'habitat, ...). Dans d'autres, comme les États-Unis, des valeurs seuils ont été définies selon le risque : risque au regard de la protection des eaux souterraines, risques sanitaires et écologiques.

Pour les pays ayant défini des valeurs seuils uniques « tous usages » (établies sur la base du risque

²⁶ PFOS, PFOA, PFHpA, PFHxA, PFDS et PFHS

²⁷ PFOS, PFOA, PFHxA et PFHxS ; ainsi que le PFDS pour les DOM.

sanitaire), on observe de très fortes variations, avec des facteurs allant de 1 à 1000, comme l'illustre le tableau 2.

	PFOS	PFOA
Norvège	2,3 ng/kg de poids sec	13 ng/kg de poids sec
Pays-Bas ²⁸	3 000 ng/kg ps	3 000 ng/kg ps
US EPA	6 000 ng/kg ps	16 000 ng/kg ps

Tableau 2 : seuils uniques « tous usages » de concentration en PFOS et PFOA dans les sols.

1.3.4.6 Air

Au vu des documents consultés par les missionnés et de leurs entretiens, il n'existe pas aujourd'hui de réglementations dans les pays de l'Union européenne ou de l'OCDE traitant des critères de qualité de l'air au regard des PFAS. Cette absence peut s'expliquer par la difficulté de mesurer les PFAS dans l'air et le manque de données toxicologiques concernant les effets des PFAS dans l'air.

Recommandation 3. Œuvrer pour l'adoption au plus tôt de normes européennes de qualité et de rejets (flux et concentration) dans l'eau et l'air et de normes de contamination des produits et déchets en PFAS (DGPR, DEB)

²⁸ Besluit Bodemkwaliteit : décret sur la qualité des sols relevant de la législation néerlandaise, fixant une norme de qualité pour l'utilisation des sols

2 Risques de contamination par les PFAS

2.1 Données et méthodes de cartographie des zones de contamination de l'environnement par les PFAS en France

2.1.1 Données sur les rejets industriels

Comme il a été évoqué au chapitre 1.3.4, il n'existe que peu de données accessibles concernant les PFAS dans les bases de données d'environnement industriel et la mission n'a eu accès à aucune étude relative aux importations, productions et ventes de PFAS en France. Le fait que les usages de PFAS portent souvent sur de petites quantités rend difficile le suivi de leur utilisation.

Le seul cas documenté récemment concerne celui de la plate-forme industrielle de Pierre-Bénite, avec les sites Arkéma et Daikin Chemical, pour laquelle une enquête journalistique²⁹ de France Télévision a produit des résultats de prélèvements et analyses de PFAS relevant des niveaux élevés de contamination et des rejets très importants dans le Rhône (concentration de 360 µg/l de 6:2 FTS dans le rejet R2 Arkéma, usine non dotée d'un traitement spécifique). Ceci a conduit le préfet du Rhône à mettre en place un dispositif spécifique de suivi des rejets et contamination.

Les résultats des trois premiers mois montrent déjà des résultats intéressants :

- ils confirment l'importance des flux et concentrations mesurés dans les rejets d'Arkéma par l'enquête journalistique, témoignant d'une situation préoccupante : environ 1 000 à 2 000 µg/l de 6:2 FTS et un flux considérable de 200 à 350 kg/mois soit 7 à 12 kg de 6:2 FTS par jour et **3,5 tonnes/an**.
- les rejets de Daikin Chemical sont beaucoup mieux maîtrisés grâce à un traitement spécifique efficace (cf. chapitre 3.3.2) ; pour le PFHxA, principal PFAS rejeté : entre 7 et 53 µg/l de PFHxA dans le rejet, 73 g de PFHxA rejetés par mois pour 412 kg mensuels en entrée de station d'épuration. Ce cas montre l'existence de « points noirs » de rejets passant au travers des mailles du contrôle des installations industrielles mais aussi qu'il existe des technologies permettant de limiter fortement les rejets industriels de PFAS au milieu. Il illustre le double impératif :
 - d'adapter le système de surveillance des rejets industriels en fonction de l'activité et des produits utilisés par les industriels. Le 6:2 FTS ne fait pas partie des 20 PFAS de la directive EDCH qui seront prochainement intégrés au réseau de surveillance des eaux souterraines et serait passé au travers des mailles d'une surveillance systématique pré-formatée ;
 - de disposer de méthodes d'analyse globale des PFAS, comme la méthode TOPA, permettant d'apprécier en monitoring un premier niveau de contamination-rejets « tous PFAS », y compris les fluorotélomères.

La mission n'a eu aucune information sur l'existence de rapports présentant les résultats des mesures de la surveillance relative à la présence de PFAS provenant des rejets d'industriels raccordés³⁰ dans les assainissements collectifs.

²⁹ Emission « Envoyé Spécial » du 12 mai 2022.

³⁰ Article 20, I-2, 6^e de l'arrêté du 21 juillet 2015 évoqué au paragraphe 3.3.2, rapport sur les micropolluants réputé annexé au bilan annuel, à la charge du maire ou président d'EPCI, en vertu du pouvoir de police du système de collecte prévu à l'article L. 5211-9-2 du CGCT.

2.1.2 Données sur les rejets des stations d'épuration urbaines

Dans le cadre de l'action de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux (RSDE) mise en œuvre avec les agences de l'eau, l'INERIS apporte son appui à la réalisation de campagnes de prélèvement et d'analyse de rejets des stations de traitement des eaux usées urbaines (STEU) ou d'ICPE (cf. supra). Lors de la première campagne (en 2016 avec des données antérieures à 2014), seules les eaux traitées des STEU de plus de 100 000 EH³¹ avaient été suivies. La seconde, en 2021 avec des données de 2017 à 2020, a porté sur les eaux brutes et traitées des STEU de plus de 10 000 EH³². Pour ces deux suivis, le PFOS a malheureusement été le seul PFAS pris en compte.

Les résultats de suivi présentés dans les rapports INERIS, exprimés en fréquence de quantification (FQ), montrent que le PFOS fait partie des substances dangereuses déclenchant le plus de significativité³³ (pour plus de 20% des STEU) et dont les niveaux sont les plus préoccupants :

- lors du premier suivi, la FQ était de 36 % en sortie de STEU, variant de 17% pour le bassin Loire-Bretagne, à 42% pour le bassin Rhône-Méditerranée et 50% pour le bassin Rhin-Meuse.
- lors du second suivi, la FQ était de 22% en sortie de STEU, et 17% des STEU (de plus de 10 000 EH) présentaient un flux moyen journalier de plus de 100 g/an.

La concentration moyenne pondérée par les débits journaliers dans les eaux traitées en percentile 95 était de 69 ng/l³⁴. Une STEU de plus de 10 000 EH sur 20 a donc un rejet supérieur à **40 kg/an**.

Le niveau de quantification du PFOS dans les eaux de sortie de STEU est du même niveau que celui mesuré en entrée, confirmant que les STEU (principalement de filière biologique) n'ont guère d'efficacité épuratoire pour le PFOS).

2.1.3 Données sur la contamination des ressources en eau, des sols et des milieux

Les agences de l'eau ont mis en place des réseaux de mesure des PFAS dans les eaux de surface comme dans les eaux souterraines, dès 2017 ou 2018, par anticipation ou sur la base de l'arrêté « surveillance » du 17 octobre 2018³⁵, mais en l'étendant à un nombre plus important de substances suivies dans les eaux souterraines, par anticipation de la révision de l'arrêté « surveillance » le 26 avril 2022 : selon les bassins et les stations, les teneurs en une dizaine ou une quinzaine de PFAS ont été suivies.

L'historique de suivi est d'à peine 4 années depuis 2018 et doit être exploité avec prudence du fait que les LQ de ces substances ont été modifiées pour être fixées réglementairement à 2 ng/l en août 2021 (LQ antérieure de 10 ng/l pour le PFOS), ce qui modifie leurs fréquences de quantification (FQ). Or ce paramètre est souvent utilisé pour caractériser un niveau général de contamination, de préférence à des valeurs de concentrations.

Diverses mesures sont également réalisées sur les eaux brutes destinées à l'alimentation humaine et sont bancarisées dans le SISE-Eau (Système d'Information des services Santé-Environnement Eau).

Les résultats de l'ensemble de ces réseaux sont bancarisés dans les bases de données ADES, gérée par le BRGM, pour les eaux souterraines et NAI/ADES, gérée par l'OFB, pour les eaux de surface³⁶, soit de manière directe, soit avec un décalage temporel (parfois d'un an) via d'autres banques, comme le SISE-Eau.

Il convient de relever la qualité des collaborations sur le sujet des PFAS entre les ministères de la

³¹ Equivalent-Habitant.

³² Soit la totalité des STEU soumises à autorisation au titre de la législation sur l'eau.

³³ Selon les critères de la Note technique RSDE du 12 août 2016 se rapportant à des seuils de concentration moyenne, de concentration maximale ou de flux : correspond à des rejets « significatifs ».

³⁴ Valeur telle que 95 % des valeurs mesurées sont en dessous et 5 % sont au-dessus.

³⁵ Surveillance de 6 PFAS pour les eaux souterraines et 4 PFAS pour les eaux de surface (cf. paragraphe 1.3.4.4)

³⁶ Via la base SISE-Eaux s'agissant des données de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

transition écologique et de la santé, en particulier sur la mise en commun des données de contamination mesurées entre DEB, DGPR et DGS, et leur bancarisation. Certaines améliorations peuvent encore être envisagées, en particulier concernant l'accès aux données de rejets.

Proposition 1 : Les gestionnaires de bases de données sur les PFAS dans l'environnement (OFB, BRGM, DGS) doivent œuvrer au rapprochement de leurs bases de données ou à la création d'une interface transparente au regard de l'origine des données.

Nom	Nombre de points avec mesures	Nombre total de mesures non quantifiées	Nombre total de mesures quantifiées	Concentration maximale mesurée (µg/l)	Fréquence de quantification %
Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)	3040	15108	2444	1,41	13,9
Acide perfluoro-n-hexanoïque (PFHxA)	2828	19908	2121	2,85	9,6
Acide perfluoro-octanoïque (PFOA)	2953	20599	2151	10,2	9,5
Acide perfluorohexanesulfonique (PFHxS)	2831	20277	1927	0,859	8,7
Acide perfluorobutane sulfonique (PFBS)	551	3463	204	0,069	5,6
Acide perfluoro-n-heptanoïque (PFHpA)	2853	20992	1174	1,24	5,3
Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)	1289	6012	223	5,89	3,6
Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS)	994	4662	101	0,026	2,1
Acide perfluorobutanoïque (PFBA)	767	4197	86	0,028	2,0
Acide perfluorononanoïque (PFNA)	2137	13354	115	0,155	0,9
Acide perfluorodécanoïque (PFDA)	2039	12382	51	0,088	0,4
Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS)	2817	21666	51	0,08	0,2
Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA)	1982	10913	18	0,029	0,2
Acide perfluoroundécanoïque (PFUnDA)	2019	10995	14	0,015	0,1
Acide perfluorotridécanoïque (PFTrDA)	925	4573	0	0	0,0
Acide perfluoropentane sulfonique (PFPeS)	8	8	0	0	0,0
Acide perfluorononane sulfonique (PFNS)	8	8	0	0	0,0
Acide perfluoroundécane sulfonique	8	8	0	0	0,0
Acide perfluorododécane sulfonique	8	8	0	0	0,0
Acide perfluorotridécane sulfonique	8	8	0	0	0,0

2.1.3.1 Eaux souterraines

Une exploitation des données bancarisées dans ADES a pu être réalisée en 2022 (sur les données allant jusqu'à 2021 inclus) avec l'appui du BRGM.

Tableau 3 : Concentrations en PFAS dans les eaux souterraines en France - Source Banque ADES – BRGM : Laurence Gourcy

Le tableau 3 permet de constater que sur les 20 PFAS de la directive EDCH :

- le nombre total de mesures pour les PFAS les mieux suivis atteint ou dépasse le chiffre de

20 000, ce qui apporte une couverture correcte ;

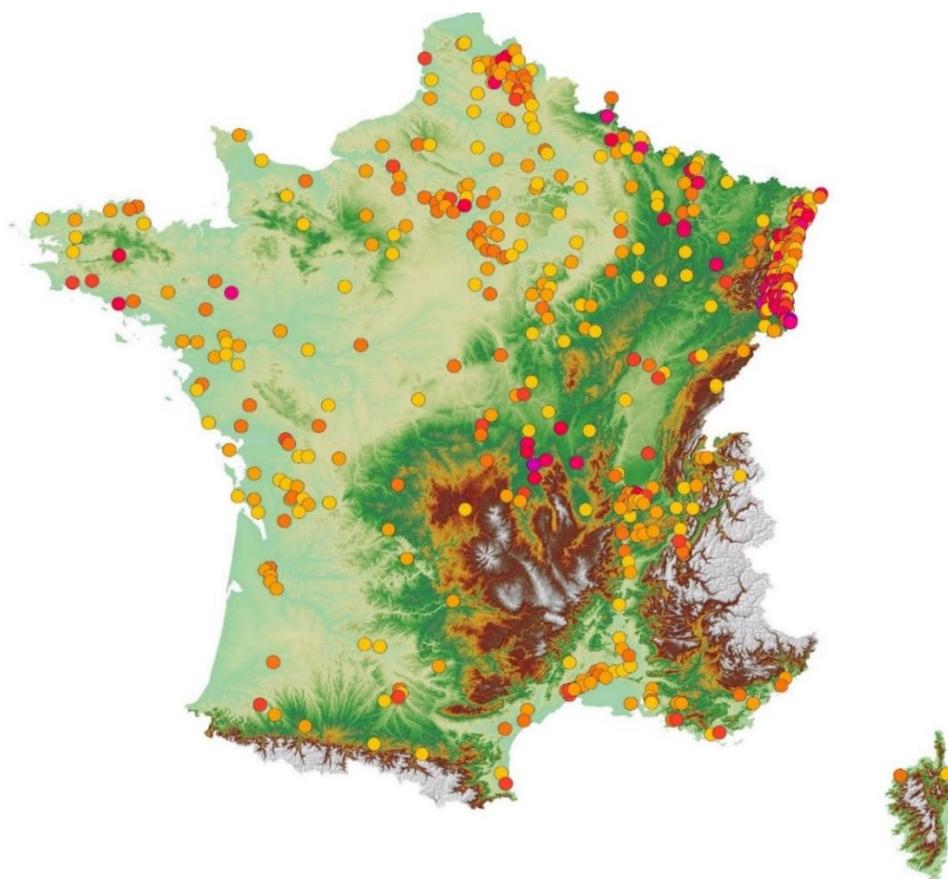
- 6 PFAS sont quantifiés à des fréquences supérieures à 5%, parmi lesquelles on retrouve les substances interdites par le règlement POP (PFOS, PFOA, PFHxA) ;
- 6 ne sont jamais quantifiés, dont un sur un nombre de mesures statistiquement significatif ;
- Les fréquences de quantification des autres PFAS restent modérées (entre 0,1 et 4 %) ;
- Les concentrations maximales peuvent atteindre des valeurs élevées (10 µg/l pour le PFOA).

Ces données montrent une contamination générale modérée des eaux souterraines françaises, en comparaison de situations qui ont pu être caractérisées aux USA, en Allemagne ou en Italie. Les contaminations restent ponctuelles et non généralisées, avec des teneurs parfois élevées de certaines substances PFAS, notamment le PFOA et le PFPeA. Ce constat doit être pondéré en considérant que seuls quelques PFAS sont suivis, les fluorotélomères en étant par exemple exclus.

Un essai d'expression cartographique de ces données a été réalisé pour la mission par le BRGM.

En termes de fréquences de quantification, la carte 1 montre une répartition géographique correspondant nettement à une contamination d'origine ponctuelle et non à une pollution diffuse.

Elle montre également des contaminations plus marquées des nappes de la Limagne et d'Alsace, puis des nappes de la région rhodanienne, du Nord, de la vallée de la Seine, de la Meuse et de la Moselle et de leurs affluents, de Bretagne et de la côte méditerranéenne.



Nombre de PFAS quantifié (> LQ) par point d'eau
Sélection : au moins 3 PFAS > LQ



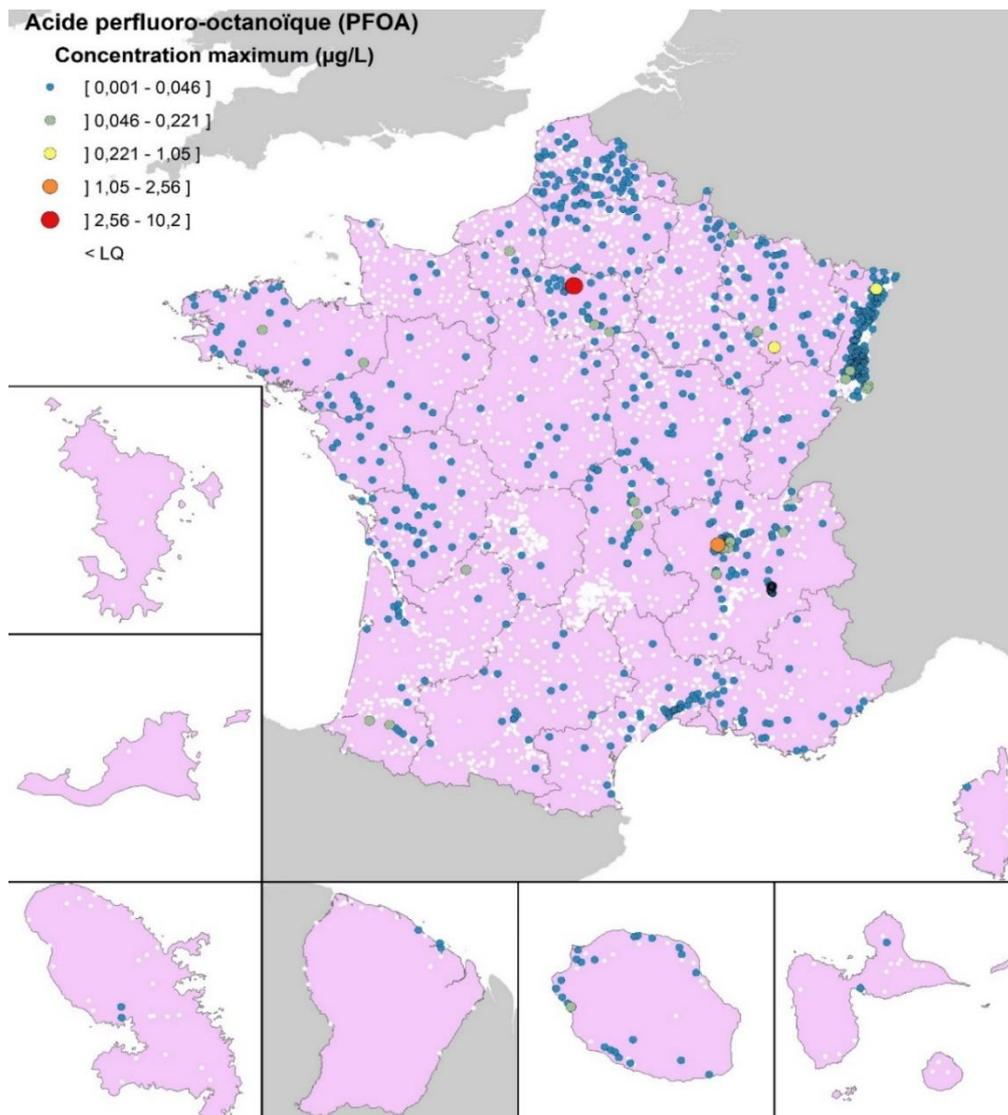
Carte 1 : Nombre de PFAS quantifiés par point d'eau - Source BRGM : Laurence Gourcy

La carte 2 présente la contamination des nappes françaises au PFOA, en termes de concentrations maximales. Les cartes de contamination des nappes françaises au PFOS, PFHxA, PFPeA et PFHpA sont présentées en annexe 9.

Ces cartes illustrent la situation d'une contamination générale faible dans le territoire français (pour les substances suivies), mais aussi l'existence de plusieurs sites marqués, au moins de manière ponctuelle, par des concentrations élevées en nappes.

Pour le PFOA :

- secteur de Paris (concentration maximale proche de 10 µg/l) ;
- secteur de Lyon (concentration maximale proche de 2 µg/l) ;
- la plaine des Vosges et le nord-est du Bas-Rhin (concentrations maximales proches ou inférieures à 1 µg/l) ;
- 22 secteurs avec des concentrations maximales comprises entre 0,200 et 0,050 µg/l).



Carte 2 : Concentrations maximales de PFOA observées dans les nappes - Source BRGM : Laurence Gourcy

L'annexe 8 fournit une vue plus précise des résultats de surveillance des eaux souterraines dans les bassins versants Rhône-Méditerranée et Corse et Seine Normandie.

Ces résultats montrent que les contaminations en PFAS se trouvent en majorité (66%) dans des aquifères alluviaux et pour 17% en aquifères karstiques. Les nappes contaminées sont donc le plus souvent liées aux eaux superficielles ou intrinsèquement vulnérables, ce qui signifierait que les sources de pollution en PFAS sont essentiellement les rejets dans les eaux superficielles.

2.1.3.2 Eaux superficielles

L'OFB n'a pas réalisé d'exploitation des données d'analyse des PFAS bancarisés dans NAIADES. L'exploitation faite en septembre 2018 par le BRGM dans le cadre du rapport BRGM/RP-69594-FR de décembre 2020 s'est appuyée sur les valeurs de FQ. Or, l'évolution des limites de quantification intervenue après 2018 peut créer un biais dans l'interprétation des FQ (cf. supra). De plus, les dispositifs d'analyse des PFAS par les agences venaient de se mettre en place et n'étaient pas encore éprouvés.

La mission a donc privilégié l'exploitation d'autres références scientifiques³⁷ fondées sur des méthodes analytiques de pointe pour 22 molécules PFAS et la référence à des fréquences de détection (avec des limites de détection très basses) plutôt que de quantification. Sur les 315 échantillons d'eau provenant de toute la France (133 points), les fréquences de détection (FD) dans la phase dissoute apparaissent élevées :

PFAS	PFOA	PFOS	PFHxS	PFHxA	6:2 FTS A
FD	84%	85%	81%	72%	52%

Tableau 4 : Fréquence de détection observée sur 315 échantillons d'eau issus de 133 prélèvements d'eau en rivière

Des disparités apparaissent avec l'exploitation BRGM 2018 susvisée (en particulier, FQ de 100% pour le PFOS selon le BRGM).

Sur la Seine, en aval de Triel-sur-Seine, c'est le 6:2 FTS qui domine (comme à Pierre-Bénite dans le Rhône), en représentant 35% du total des PFAS. Sa présence est également importante dans l'Oise (aval de Villers-St-Paul) avec celle du 6:2 FTA.

Les résultats montrent également que ce sont principalement des PFAS à chaîne carbonée courte qui sont présents en phase dissoute³⁸.

La concentration moyenne en phase dissoute pour la somme des PFAS était de 28 ng/l. Cette moyenne recouvre toutefois une forte variabilité : un maximum de 725 ng/l a été mesuré dans une station du Ru d'Ancoeur près de Melun. Les concentrations moyennes étaient mesurées entre 2,5 et 5 ng/l pour PFOS, PFOA, PFHxA et PFHxS.

Les sources scientifiques convergent pour constater une corrélation négative entre les concentrations de PFAS en phase dissoute et le débit de la Seine et à l'interpréter comme un effet de dilution indiquant la prédominance de sources ponctuelles pour ce fleuve.

En phase particulière, étaient le plus souvent détectés le PFOS (FD = 74%), le PFOSA (FD = 67%) et les carboxylates en C10-C12 (FD = 45%).

Bien que la comparaison soit difficile compte-tenu des différences méthodologiques, la contamination en PFAS des eaux superficielles françaises est plus générale que celle des eaux souterraines. Ceci serait cohérent avec une origine principalement liée aux rejets dans les cours d'eau, qui se propagent vers l'aval, ainsi qu'avec le constat selon lequel ce sont les nappes alluviales qui sont les plus contaminées aux PFAS.

2.1.3.3 Autres matrices : sédiments, sols, air

Sédiments

Une douzaine de sédiments ont été prélevés en France métropolitaine et analysés dans le cadre de la campagne prospective 2012. Le PFOS a été systématiquement détecté (concentrations de 0,1 à 23 ng/g de poids sec) et domine largement le profil moléculaire des acides perfluoroalkylés (PFAA).

Des fluorotélomères sulfonamidoamines (FTA) et des fluorotélomères sulfonamidobétaines (FTAB) ont été détectés dans ces échantillons à des concentrations élevées (jusqu'à 7,6 ng/g de poids sec), en particulier dans les cours d'eau situés au voisinage des aéroports où des activités de lutte contre le feu impliquant l'utilisation périodique de mousses extinctrices de type AFFF.

Le PFOA peut également être trouvé à des concentrations élevées (un cas dans le bassin Seine Normandie en 2015).

³⁷ G Munoz et al. Spatial distribution and partitioning of selected PFAS in freshwater ecosystems: a French nationwide survey – STE – 2015; G Munoz - Thèse de doctorat Université de Bordeaux - 2015 ; P Labadie et al. Biogeochemical dynamics of PFAS acids and sulfonates in the River Seine under contrasting hydrological conditions – EP – 2011.

³⁸ Le coefficient de partition particulière/dissous (Kd) des PFAS est directement proportionnel à la longueur de cette chaîne (plus elle est longue, plus la part de PFAS en phase particulière est élevée).

Biote

Des premières investigations ont été lancées sur la contamination de poissons et de gammarès (crustacés) dans les eaux françaises : des déclassements significatifs apparaissent par contamination au PFOS sur le poisson mais aussi sur gammarès. Ces premiers résultats nécessitent d'être consolidés par des analyses complémentaires.

Autres : air, sol...

Peu d'informations existent sur les pollutions de l'air ambiant par les PFAS et leurs rejets dans l'atmosphère, du fait de l'absence de méthodes standardisées d'analyses de l'air. Des données sont cependant disponibles sur les retombées de PFAS autour de quelques sites de rejets et la modélisation de ces retombées (États-Unis). Une étude de l'université de Stockholm et de l'École polytechnique de Zurich³⁹ a montré que les eaux de pluies étaient par ailleurs contaminées par les PFAS à des niveaux supérieurs aux lignes directrices de l'EPA pour l'eau potable à peu près partout dans le monde.

L'EPA a prévu d'importants efforts de recherche et développement dans le domaine de l'air ambiant dans le cadre de sa feuille de route.

La contamination des sols par les PFAS a fait récemment l'objet d'un article scientifique⁴⁰ dressant la synthèse de plusieurs dizaines d'études publiées pour la plupart entre 2010 et 2020. Plus de 30 000 analyses réalisées sur 2 500 sites dans le monde entier y sont rassemblées (plusieurs sites en Europe, mais non en France) :

- Dans les sites éloignés de sources potentielles de PFAS, des concentrations faibles mais mesurables ont été détectées pour tous les sites, même en régions désertiques, principalement en PFOS et PFOA ;
- Dans les sites identifiés comme « sources primaires » par l'article (usines de fabrication de PFAS, zones d'entraînement aux incendies, aéroports militaires, ...), le PFOS était prédominant : les concentrations maximales mesurées allaient jusqu'à plusieurs centaines de mg/kg de sol, la moyenne inter-sites des concentrations maximales en PFOS s'établissant à la valeur élevée de 8,7 mg/kg. Pour le PFOA, cette valeur s'établit à 0,08 mg/kg.
- Dans les sites identifiés comme « sources secondaires » (sites voisins des précédents, sites d'application de boues d'épuration, d'irrigation par des eaux contaminées, ...), la concentration maximale en PFOS mesurée était de 5,5 mg/kg (épandage de rejets d'origine industrielle), la moyenne inter-sites des concentrations maximales en PFOS s'établissant à la valeur élevée de 8,7 mg/kg, avec une moyenne inter-sites des concentrations maximales de 0,68 mg/kg. Pour le PFOA, cette valeur s'établit à 0,038 mg/kg. Dans des sols agricoles avec épandage de boues de stations d'épuration urbaines, les contaminations étaient variables, mais pouvaient aller jusqu'à 0,48 mg/kg de PFOS.

Les chiffres fournis par cette synthèse indiquent que le sol est un milieu de rétention significative de PFAS, notamment dans la zone insaturée, sur des périodes décennales, avec un potentiel de lessivage à long terme vers les eaux souterraines et de migration atmosphérique.

2.2 Analyse des risques de contamination par les PFAS

Deux méthodes complémentaires, de l'aval (les enjeux ou cibles) vers l'amont (les sources) et de l'amont vers l'aval, sont proposées et adaptées dans une logique cartographique et de maîtrise du risque. Aucune des deux méthodes n'offre une vision exhaustive des risques de pollution par les PFAS, sauf à engager un travail lourd et de longue haleine. Croisées, elles permettent de cibler les principaux risques en les hiérarchisant et d'établir un calendrier de travail.

³⁹ Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Ian T. Cousins, Jana H. Johansson, Matthew E. Salter, Bo Sha, and Martin Scheringer - *Environmental Science & Technology* **2022** 56 (16), 11172-11179

⁴⁰ PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites ; Mark L. Brusseau, R. Hunter Anderson, Bo Guo ; *Science of Total Environment*, June 2020.

La Matrice Activités - Polluants de la base de données ActiviPoll (en accès gratuit depuis <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/base-de-donnees/bd-activipoll#outil-de-recherche-bd-activipoll>), que le BRGM et la DGPR ont mis à jour fin 2022 en y intégrant les PFAS, établit des corrélations entre activités industrielles et polluants susceptibles d'être associés. Le cabinet Antéa a développé une démarche dans le même esprit, initialement aux Pays-Bas, avec son outil de pré-identification des sources possibles de PFAS « PFAS Screening Tool » (cf. annexe 10).

Malgré les propriétés particulières et spécifiques des PFAS, certains polluants persistants, toxiques ou CMR (HAP, organohalogénés, métaux...), ont des caractéristiques qui peuvent rejoindre celles des PFAS (nombre de molécules, persistance, mobilité, sources). La démarche proposée s'inspire des démarches mises en œuvre pour aborder l'analyse de risques de présence et la maîtrise de ces polluants : politique des sites pollués, travaux sur les établissements sensibles implantés sur d'anciens sites d'activité, responsabilité élargie du producteur, directive RoHS, règlement REACH ou autres réglementations.

2.2.1 Préalables à une démarche hiérarchisée d'identification des risques de contamination

2.2.1.1 Etablir et hiérarchiser la liste des sites ayant pu émettre des PFAS dans l'environnement (« sites émetteurs ») et des sites à enjeux (sites cibles) :

Sites potentiellement émetteurs

La bibliographie converge assez largement sur les principales sources possibles de PFAS (tableau 5). La base de données ActiviPoll ou l'outil de pré-identification d'Antéa retiennent sensiblement les mêmes sites, ce qui permet d'obtenir déjà une liste complète de sites potentiellement émetteurs. Les missionnaires ont complété cette liste, en particulier par les établissements de production de fluorocarbones.

Sites potentiellement émetteurs	Sites prioritaires (en polices normale) et secondaires (italique)
Établir l'inventaire des activités passées ou actuelles susceptibles ou ayant été susceptibles de produire, générer, utiliser ou émettre des PFAS dans l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> - unités de production de PFAS et autres dérivés fluorés (HFC, CFC, HCFC) - sites pouvant utiliser des PFAS (production d'insecticides, industrie textile, production d'emballages alimentaire, traitements de surface par chromation...), - centre de valorisation, traitement et élimination des déchets, <i>anciennes décharges</i>, - STEU soumises à autorisation ou déclaration recevant des PFAS (RSDE) - Sites de stockages et d'incinération de déchets (hors incinération à plus de 1200 °C) <ul style="list-style-type: none"> - <i>usines de traitement d'eau potable</i> - <i>épandages de boues, compost, digestat, ... issus de STEU recevant des PFAS</i> - <i>épandage de pesticides contenant des PFAS</i>
Inventaire des feux d'hydrocarbure postérieurs à la seconde guerre mondiale et des sites possibles d'entraînement à la lutte contre ces feux	<p style="text-align: center;">Inventaire Antéa (Voir annexe 9)</p> <p style="text-align: center;"><i>Inventaire complémentaire (à réaliser dans un second temps)</i></p>

Tableau 5 : Principaux sites émetteurs de PFAS

La hiérarchisation des sites pourra s'appuyer également sur l'importance des enjeux (captages AEP, aménagement urbain) et la capacité de l'Etat à agir (connaissance du site, présence d'un responsable...).

La recherche des sites encore en activité pourra se référer à l'analyse des nomenclatures ICPE (raffinage, stockage, pétrochimie, déchets...) et IOTA (stations d'épuration, épandages), mais aussi sur la matrice « activités-polluants » ActiviPoll disponible à la DGPR.

La recherche des activités disparues ou des incendies pourra s'appuyer sur les bases de données ARIA (<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>), ex-BASOL et CASIAS (désormais accessibles via une unique interface sous GéoRisques <https://www.georisques.gouv.fr/risques/pollutions-sols-sis-anciens-sites-industriels>) et complétées par l'analyse des dossiers de cessation d'activités, des études historiques et des rapport d'accidents en particulier. Un test pourrait être conduit dans un premier

temps sur quelques sites pour vérifier la faisabilité de cette démarche et son implication en termes de moyens humains.

Recommandation 4. Achever l'inventaire des grands incendies d'hydrocarbures depuis les années 50 et sur les sites d'entraînement à l'utilisation de mousses AFFF civiles et militaires. Identifier les sites pouvant avoir pu être pollués par l'infiltration de mousses contenant des PFAS (DGSCGC, DGPR, SDIS, DGAC, Ministère de la Défense).

Localement, les évaluations environnementales et autres dossiers produits lors des demandes d'autorisation pourront être exploités, bien que leurs contenus ne soient pas bancarisés.

Organisation des recherches

Il conviendra d'identifier en premier lieu les sites qui sont ou ont pu être effectivement émetteurs ou contaminés. La recherche spécifique de certains PFAS ne devra être engagée qu'une fois réalisée une analyse globale (méthode TOPA ou autre) démontrant la présence de PFAS. Dans un second temps, l'analyse devra préciser les ateliers pouvant être à l'origine des pollutions (sites émetteurs) ou les points de captages contaminés au sein de l'unité de distribution d'eau potable⁴¹.

Recommandation 5. Systématiser sur les principaux sites émetteurs en activité, en cessation d'activité ou à l'arrêt une recherche hiérarchisée des PFAS, avec mobilisation dans un premier temps de méthodes génériques (du type TOPA) ou analyse du risque de présence de PFAS, puis dans un second temps, là où auront été détectées des possibilités de contamination, mise en œuvre d'analyses spécifiques (DGPR, DEB, DGS).

2.2.1.2 Consolider les informations nationales

Bancariser l'ensemble des informations et faire dialoguer les banques de données

Toutes les données déjà disponibles à l'échelle nationale doivent pouvoir être consolidées dans un outil commun ou au travers d'outils pouvant échanger en temps réel et utiliser des interfaces communes : le fonctionnement des banques de données sur la qualité des eaux (eaux souterraines, de surface, potables) n'est pas loin de répondre à cette obligation. Ce n'est pas encore le cas des banques de données sur les usages industriels ni sur les rejets, ce qui posera des difficultés dès qu'elles disposeront d'informations conséquentes sur les rejets de PFAS.

L'ensemble des informations concernant la production, l'utilisation, les rejets ou les épandages de PFAS doit être bancarisé. Or si une bancarisation limitée des rejets de PFAS est déjà en place, d'autres informations ne le sont toujours pas, comme celles contenues dans les études d'impact ou les bilans environnementaux. Il convient de l'organiser, ce qui devra permettre des cartographies aisées aux échelles nationales, dans une logique programmatique, et locales, pour des utilisations opérationnelles.

⁴¹ Il conviendra de caractériser les captages pollués au-delà de la seule qualité des eaux pour une bonne interprétation des résultats et en particulier définir leur aire d'alimentation.

Recommandation 6. Les gestionnaires de bases de données sur les PFAS dans l'environnement (OFB, BRGM, DGS) doivent œuvrer au rapprochement de leurs bases de données ou à la création d'une interface transparente au regard de l'origine des données.

Estimer les grandes masses de production et d'utilisation de PFAS

Il est important de disposer de données fiables sur les bilans nationaux de PFAS par grandes masses : quantités produites, importées, exportées, utilisées, si possible par PFAS ou groupes de PFAS.

Une fois généralisées les mesures sur les rejets et les eaux potables devront être estimées les quantités rejetées et épanchées dans l'environnement, accueillies dans les sites d'élimination de déchets et prélevées dans les eaux brutes ou injectées dans les réseaux d'eau potable.

2.2.1.3 Accompagnement de la démarche

Informer sur la problématique des PFAS dans l'environnement

À l'inverse d'autres pays, la problématique des PFAS reste un sujet méconnu en France, par le public mais aussi par beaucoup d'acteurs de l'environnement (Inspecteurs de l'environnement, entreprises utilisant des PFAS, bureaux d'études...). Il est indispensable de leur faire connaître la problématique de ces polluants pour qu'elle soit prise en compte dans les études et démarches environnementales.

Recommandation 7. Faire connaître au public et aux acteurs de l'environnement la problématique des PFAS dans l'environnement et les risques qu'ils présentent, leur présence dans les produits de tous les jours ainsi que l'importance de la prise en considération de cet enjeu (DGPR, DEB).

Prévoir un appui technique et des financements adaptés

Un appui technique à la campagne de mesures s'avère nécessaire pour l'organisation du processus et l'interprétation des résultats et, le cas échéant, maîtriser le risque.

Beaucoup de ces travaux d'identification des sources PFAS et d'analyse de risque auront un caractère pionnier, avec des aspects méthodologiques voire de recherche non négligeables. Il conviendra d'accompagner les acteurs locaux aux niveaux technique et financier. Les réseaux scientifiques et techniques des ministères chargés de l'écologie et de la santé pourraient être sollicités⁴² et des financements recherchés auprès des agences de l'eau, de l'OFB et de l'ADEME.

2.2.2 Identification et correction des pollutions à moyen et court termes

2.2.2.1 Analyse aval-amont : remonter de la cible à la source

Eaux souterraines : captages d'eau

La campagne de 2010-2011 était exploratoire et de nombreux progrès dans la compréhension du comportement des PFAS dans l'environnement et sur les méthodes d'analyse ont conduit la mission à considérer qu'une nouvelle campagne, plus large et portant sur plus de molécules (combinant analyses

⁴² Certains cabinets conseils ayant acquis une expérience internationale pourraient également être mobilisés.

globales et spécifiques) s'avérerait indispensable pour évaluer le risque de présence de PFAS dans l'eau potable et le risque pour les populations. En son absence, les remontées d'information sur la surveillance des eaux potables mettront ces données à disposition à moyen terme et sur un nombre beaucoup plus important de captages.

Pour chaque captage contaminé, les sources de pollution seront recherchées dans l'aire d'alimentation. Une étude de faisabilité du traitement à la source des pollutions (et du panache de pollution s'il s'agit d'une nappe) sera produite.

Une démarche similaire pourrait concerner d'autres points d'émergence de nappe et les piézomètres.

Eaux superficielles : analyse par bassin versant

Le suivi montre que les sources de pollution les plus significatives concernent des rejets ponctuels vers les eaux superficielles. L'analyse des concentrations en PFAS sur les tronçons (ou masses d'eau superficielles) successifs, mais aussi des flux moyens de PFAS (débit x concentrations), peut permettre d'identifier les tronçons où sont situés ces rejets⁴³, puis la source de pollution elle-même. Les analyses de sédiments peuvent apporter une vision d'un historique d'accumulation.

La surveillance des cours d'eau doit ainsi porter sur les concentrations et les flux, avec l'estimation du débit associé à la concentration mesurée. Le nombre de mesures doit être suffisant pour pouvoir en déduire un flux moyen.

Autres sources d'information : aménagement de sites

Les programmes d'aménagement y compris de sites n'ayant jamais accueillis d'activités émettrices de PFAS peuvent présenter une pollution des sols par les PFAS du fait de transferts par les eaux et l'air. Une démarche similaire aux précédentes sur la recherche de la source de pollution pourrait être engagée, en envisageant les différentes voies possibles de transfert.

Proposition 2 : Anticiper les obligations réglementaires de contrôle de l'eau potable en les complétant, en cas de pollution par des PFAS, par des contrôles sur l'ensemble des points de prélèvement des eaux (DGS). Sur les masses d'eau superficielles, étendre la surveillance aux 20 PFAS « DECDH » (DEB – Agences de l'eau) et préciser, lorsque c'est possible, les flux de PFAS (concentrations x débit) aux points de surveillance afin d'en déduire les principales sources d'émission par bassin (DEB, DGPR).

2.2.2.2 Analyse amont/aval : descendre de la source vers les cibles

Identification des sources ponctuelles issues d'activités arrêtées

L'identification de ces sources s'inscrit dorénavant dans la politique de gestion des sites et sols pollués, dès lors que les PFAS sont intégrés à la base ActiviPoll et sont donc pris en compte dans le cadre des diagnostics exigés lors des cessations d'activité. Le rappel de la nécessaire prise en compte des PFAS dans ces études pourrait prendre la forme de guide d'instruction DGPR/DE/DGS ou d'arrêté ministériel.

Ce travail pourrait adopter la démarche suivante⁴⁴, appliquée à l'ensemble des sites prioritaires pré-identifiés au niveau national :

Etude des productions, utilisations, stockages ou rejets potentiels de PFAS dans l'environnement sur la base d'études historiques

⁴³ Ainsi l'exemple évoqué en annexe 8 pourrait indiquer un flux de 300 kg/an de PFOS généré chaque année par la rivière Marsange et expliquer à lui seul un surcroît de pollution de la Seine de 20 ng/l à son embouchure.

⁴⁴ Cette démarche pourrait s'inscrire dans un arrêté ministériel, l'action étant nationale et identique pour tous les sites concernés avec mise en œuvre des études et travaux aux frais de l'exploitant ou du responsable du site.

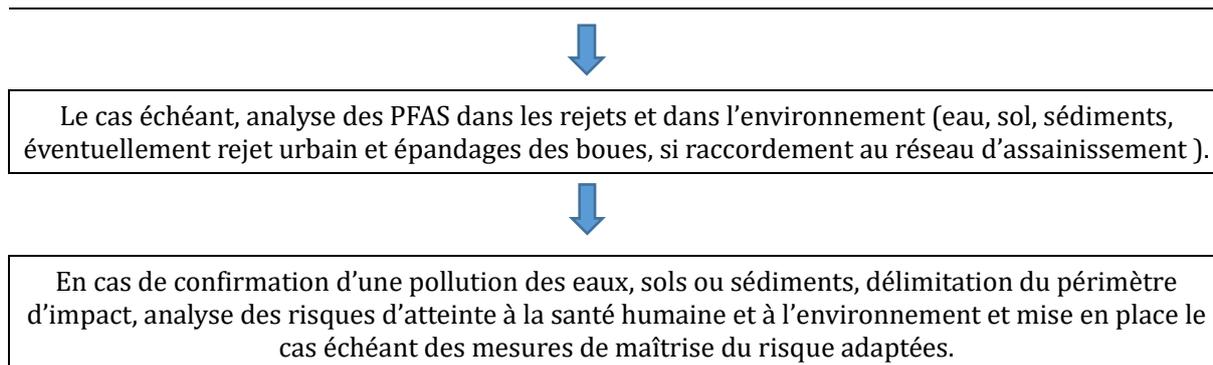


Figure 2 : Approche hiérarchisée de l'identification et de traitement des sources de pollution historiques

Identification des sources ponctuelles issues d'activités en fonctionnement

Les études d'impacts et de danger doivent prendre en compte les PFAS et leurs impacts

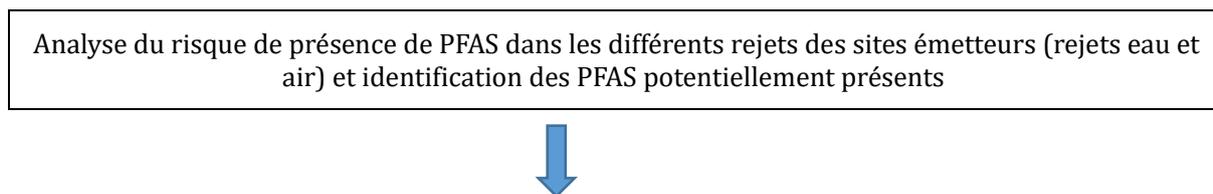
Chaque fois que le projet est susceptible de mobiliser des PFAS, c'est-à-dire s'il relève des activités ou sites prioritaires, ses études d'impact et de danger, ou leur actualisation, doivent dresser l'inventaire des PFAS susceptibles d'être produits, utilisés, générés, rejetés ou épandus par le projet, estimer leurs impacts sur l'environnement et la santé des populations, et prévoir les mesures pour les maîtriser. Cette analyse doit porter sur le fonctionnement normal ou dégradé des installations et en cas d'incendie avec utilisation de mousses aux PFAS (rejets vers les eaux, les sols et l'atmosphère, y compris à longue distance). L'autorisation du projet devra reprendre les principales conclusions et les informations sur les PFAS devront être bancarisées. Bien que cette démarche s'inscrive dans les principes habituels de la réglementation ICPE, une instruction de la DGPR à l'Inspection ou la modification des guides de réalisation des études d'impact pourraient s'avérer utiles.

Des mutualisations de ces travaux par branche ou secteur d'activité pourraient être favorisées par les pouvoirs publics : quantification des émissions atmosphériques du secteur des déchets ou de la production d'organofluorés, incidences des épandages de boues ou des rejets de STEU...

Proposition 3 : Rappeler la nécessité de prendre en compte les PFAS et leurs impacts dans les évaluations environnementales, les analyses de risque sur sites et sols pollués et les études de danger (DGPR, DEB, DHUP).

Cibler la connaissance et l'action sur les principaux « sites émetteurs »

Au vu du peu d'informations disponibles sur les rejets, il est indispensable d'engager au plus tôt une campagne d'identification et de caractérisation des principaux rejets *a minima* sur les principaux « sites émetteurs » (tableau 5), par exemple par des arrêtés ministériels pris au titre des législations ICPE (secteur industriel) et eau (STEU, épandages de boues), ou par des instructions spécifiques pour les sites émetteurs ne relevant pas de ces législations (sites d'entraînement à la lutte contre les incendies utilisant encore des mousses aux PFAS). Ces arrêtés et instructions devront demander aux établissements concernés de procéder dans un délai très court aux opérations suivantes :



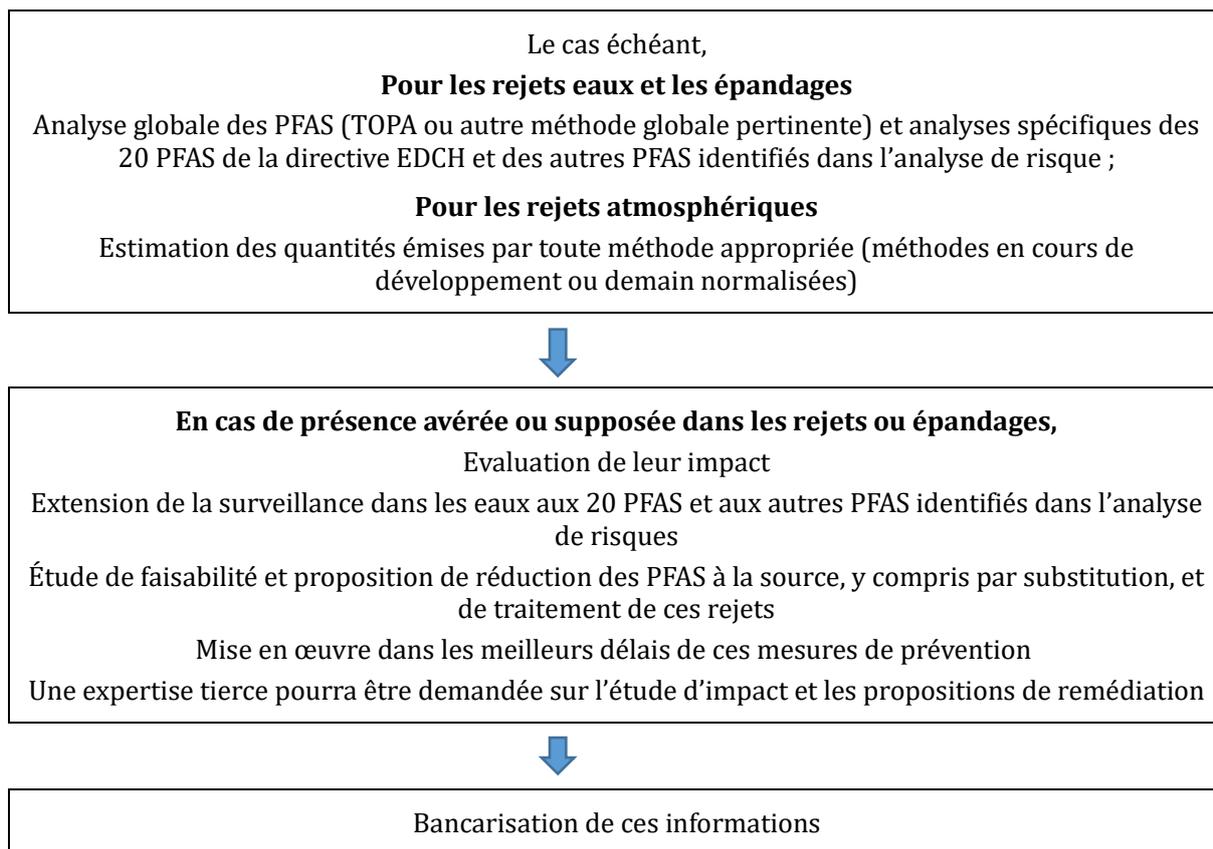


Figure 3 : Contenu d'un arrêté ministériel ou d'une instruction « PFAS » pour les sites émetteurs

Recommandation 8. Engager une opération nationale d'identification et de maîtrise des émissions de PFAS sur l'ensemble des sites émetteurs potentiels par arrêté ministériel et parachever l'action RSDE. Engager une démarche de maîtrise du risque sur chaque site émetteur identifié et sur les principaux enjeux contaminés : captages d'eau potable et zones d'aménagement urbain (DGPR, DEB, DGS).

Un travail sur les pollutions diffuses limité aux seules données générales et à quelques actions ciblées sur la connaissance de ces pollutions

La pollution de fond par les PFAS est limitée en France avec une majorité des nappes qui ne présente pas de pollution quantifiable⁴⁵. Leur origine et leur extension doivent être précisées, ce qui nécessite :

- d'estimer les quantités de PFAS épandues avec des boues ou leurs dérivés, provenant de

⁴⁵ Cette appréciation nécessiterait d'être expertisée, en particulier pour les situations les plus à risques (apports cumulatifs du fait de l'épandage de boues ou de pesticides contenant des PFAS ou de rejets atmosphériques de PFAS) et de la sensibilité de certains aquifères, karstiques, proches de la surface ou mal protégés par le sol).

stations d'épuration rejetant des PFAS et d'identifier les secteurs concernés ;

- d'identifier et de quantifier les pesticides contenant des PFAS épandus : la bibliographie est pauvre et il convient d'interroger les industriels pour déterminer les pesticides concernés, les quantités vendues en France, sur quelles cultures et dans quelles régions ;
- d'améliorer les méthodes de quantification des PFAS dans les fumées (incinérateurs, ...) et l'air ambiant ainsi que sur les transferts atmosphériques et les retombées des PFAS.

Il ne semble ni envisageable ni utile à court et moyen terme d'établir la cartographie des émissions diffuses. Des éléments de cartographie, de nature qualitative, pourraient cependant indiquer⁴⁶ :

- Les secteurs d'épandage historiques ou actuels de boues issus de STEU rejetant du PFOS ;
- Les « sites émetteurs » pouvant rejeter des PFAS dans l'air (production d'organofluorés, incinérateurs, feux d'hydrocarbures...), accompagnés d'indications sur les secteurs de retombées possibles ;
- Les zones d'épandage historiques et actuelles de pesticides contenant des PFAS.

Cette cartographie simplifiée pourrait être accompagnée de celle des captages AEP situés à proximité pour lesquels des contrôles de qualité des eaux permettraient de confirmer ou d'infirmer l'existence d'un risque immédiat ou à terme et de prendre les mesures de prévention nécessaires.

2.2.2.3 Autres approches du risque

Campagnes exploratoires

Au-delà de ces démarches opérationnelles, des approches plus exploratoires peuvent être prévues comme l'analyse des PFAS dans les sols, à l'échelle de petites régions, ou dans le biote, dans les périmètres concernés par des sources importantes de pollution, comme cela a pu être fait par l'US-EPA.

Modèles prédictifs de dangers

Les modèles QSPR (Quantitative Structure-Property Relationship) et QSAR (Quantitative Structure Activity Relationship) sont des modèles décrivant une relation quantitative entre les caractéristiques structurales d'une substance et ses propriétés physicochimiques, ainsi que son activité biologique, toxicologique ou pharmacologique. Ces approches permettent de simuler, à partir d'une source donnée, les panaches de contamination par diverses molécules dans différentes matrices (sols, eau...), en fonction de leurs caractéristiques de solubilisation, d'adsorption, de diffusion atmosphérique... L'INERIS développe depuis plusieurs années de tels modèles, notamment pour les PFAS. Ces approches prédictives pourraient être utiles à la démarche amont/aval, en particulier pour une première identification des milieux et molécules à investiguer lors de campagnes de prélèvements.

⁴⁶ Des analyses de PFAS sur quelques sols de ces périmètres et sur les produits récoltés pourraient mettre en perspective les concentrations en PFAS observées dans les produits épandus ou les quantités de PFAS incinérées, la pollution des sols et la contamination des aliments pour préciser le risque des épandages pour la chaîne alimentaire.

3 Dépollution et élimination des PFAS, traitement des eaux potables et limitation des risques de transfert : méthodes actuelles et perspectives

Sous le terme de dépollution sont entendus :

- Le traitement de l'eau potable, des eaux usées, de l'air... qui visent à retirer le polluant d'un flux ou d'un produit ; le polluant n'est pas nécessairement détruit, mais transféré ou concentré pour être éliminé par la suite ;
- L'élimination du polluant ou du déchet qui vise leur destruction ou leur stockage dans des conditions permettant d'éviter toute contamination du milieu extérieur.

Cette distinction est importante dans le cas des PFAS, dont la destruction physico-chimique ou par biodégradation est difficile, et où les traitements ne détruisent en général pas le polluant.

3.1 Quelles normes pour les eaux, les déchets, les sols et les produits contaminés par les PFAS ?

Il existe très peu de normes pour les PFAS dans l'environnement, les produits et les déchets, si ce n'est sur la qualité des eaux destinées la consommation humaine et dans l'environnement.

Cette situation pose problème :

- il est difficile d'exiger des performances environnementales en l'absence de normes, qu'il s'agisse du niveau de rejet ou de l'impact dans le milieu ;
- la qualité des déchets, mais également du sol ou des produits, peut conditionner leur statut (produit ou déchet, recyclable ou non, inertes ou non, dangereux ou non, possibilités d'épandage de boues, de compost, caractère de fertilisant des composts...);
- l'absence de normes écarte les PFAS de beaucoup d'études (études d'impact, agréments divers...) alors qu'ils sont un facteur important d'impact ou de nocivité.

Il est indispensable de disposer de normes sous peine de se heurter à l'impossibilité d'autoriser les installations en rejetant et de réglementer leurs utilisation, rejet, traitement ou élimination.

3.2 Traitement des PFAS dans l'eau potable

Les PFAS résistent à la majorité des traitements classiques telles que l'oxydation directe, la biodégradation ou la photolyse. Des dispositifs de traitement des eaux, utilisés parfois largement pour l'élimination des micropolluants organiques (adoucissement, traitement des pesticides, dénitrification) ont également montré leur efficacité pour le traitement des PFAS. Si ces traitements sont bien utilisés pour le traitement d'eau potable, la mission n'a pas eu connaissance de leur mise en œuvre spécifiquement pour la dépollution des PFAS. Aucun des procédés de traitement examinés ne permet une destruction des PFAS, ce qui signifie que le « traitement » ne consiste qu'en un transfert de phase.

Le traitement des eaux potables ne doit intervenir qu'une fois la réflexion sur l'origine de la pollution menée à son terme :

- Identification des captages pollués (à l'amont d'une même unité de distribution) ;
- Identification et traitement si c'est possible des sources de pollution et des zones de transfert (si c'est un captage en nappe) ;
- Sinon, abandon ou déplacement du captage, changement de ressource ou, en cas de maintien du captage, traitement spécifique des eaux du ou des captages pollués, en réservant le traitement des PFAS aux seuls prélèvements d'eau le nécessitant.

3.2.1 Méthodes éprouvées en traitement des eaux potables

Beaucoup de traitement d'eau de finition ont montré leur efficacité sur les PFAS, même si la mission n'a pas eu connaissance de traitement mis en place spécifiquement pour les PFAS.

Technique	Performances	Remarques
Adsorption sur charbon actif (CA)	Concentrations en sortie pouvant atteindre le ng/l avec des rendements de 90 à 99%. Efficacité plus faible sur les PFAS à chaîne courte qu'à chaîne longue, peu évaluée sur les fluorotélomères. Performance décroît quand le COT augmente et croît avec les filtres en série. Saturation rapide du charbon actif.	Technologie usitée et éprouvée dans le traitement des pesticides et micropolluants organiques. Performance plus élevée pour le charbon actif en poudre que le charbon actif en grain Filières de régénération ou élimination du CA chargé en PFAS nécessitant un suivi spécifique.
Adsorption sur résine échangeuse anionique ou non ionique	Plus efficace que charbon actif pour les PFAS à chaîne courte. Efficacité peu évaluée sur fluorotélomères. Saturation rapide des résines échangeuses	Technologie usitée et éprouvée dans le traitement des micropolluants et l'adoucissement d'eau Génération de déchets liquides chargés en PFAS (régénération des résines échangeuses). Pas de déchets liquides pour les résines à usage unique.
Nanofiltration et osmose inverse	Efficaces quel que soit le PFAS et pour les fluorotélomères	Technologie mature et largement utilisée en dessalement. Production de concentrats très chargés qu'il faut traiter.
Précipitation-coagulation-floculation	Performance réduites pouvant nécessiter un traitement complémentaire	Production de boues qui doivent être traitées

Tableau 6 : principaux traitement de finition pouvant éliminer les PFAS

3.2.2 Voies d'amélioration dans les technologies actuelles

Les procédés d'adsorption voient aujourd'hui le développement de l'utilisation de nouveaux matériaux qui présentent des temps d'équilibre plus court et de plus fortes capacité d'adsorption pour le PFOS : argiles modifiées, biochar, adsorbants à base de protéine, hydroxydes à double couche... Ces développements relèvent encore du champ de la recherche-expérimentation.

La question du devenir des déchets de traitement saturés en PFAS (charbons actifs, concentrats, effluent de régénération de résines échangeuses, ...) reste entière et non prise en compte à ce jour par la réglementation, ce qui conduit parfois à les voir revenir au milieu naturel (rejets en rivière ou dans le réseau d'assainissement...) ou stockés dans des conditions inadaptées (charbon actif).

3.2.3 Technologies émergentes encore en phase d'expérimentation

Beaucoup de technologies sont aujourd'hui en phase d'essais en laboratoire, avec des résultats qui ne sont pas inintéressants, mais encore non aboutis : oxydation électrochimique, réduction chimique par les sulfites, iodures ou dithionates sous rayonnement UV, traitement sonochimique... Certaines techniques posent des problèmes récurrents de formation d'éléments indésirables dans l'eau comme les perchlorates, bromates...

3.3 Dépollution des eaux usées

3.3.1 Épuration des PFAS dans les eaux usées par les stations d'épuration urbaines

Une voie de migration courante des contaminants vers l'environnement se fait par les eaux usées, car

la plupart des stations d'épuration d'eaux usées urbaines ou industrielles, notamment biologiques, ne sont pas capables d'éliminer les PFAS. Les stations d'épuration biologiques (boues activées, lits bactériens) disposent de traitements primaires et secondaires qui éliminent les matières en suspension et les pollutions en solution par adsorption, absorption et biodégradation partielle sur et dans les flocs bactériens. Les polyfluorés et précurseurs sont en partie dégradés en perfluorés alors que ces derniers eux-mêmes ne le sont pas. Finalement, une grande partie des PFAS se retrouve dans les rejets d'eaux usées traités. Le rendement est faible avec transfert d'une partie des PFAS dans les boues d'épuration (plus ou moins faible selon les PFAS et leurs comportements physico-chimiques).

Un traitement spécifique des PFAS serait donc nécessaire, du même type que ceux décrits au chapitre 3.2.1 pour l'eau potable. L'ajout de ces traitements en STEU nécessiterait une épuration préalable de très haut niveau (traitement tertiaire) des principaux éléments polluants contenus dans les effluents, car ils peuvent interdire la mise en œuvre de traitement des PFAS. La chaîne de traitement des PFAS serait alors particulièrement onéreuse, ce qui peut expliquer que la mission n'a pas eu connaissance de traitements spécifiques des PFAS en station d'épuration urbaine.

Ce constat interroge sur le devenir actuel des eaux d'extinction d'incendies lorsque des mousses contenant des PFAS ont été utilisées. À ce jour, elles seraient, aux dires des services, traitées en incinérateur mais aussi rejetées dans les réseaux d'assainissement urbain et donc traitées par des stations d'épuration transparentes pour les PFAS⁴⁷.

3.3.2 Traitements spécifiques des PFAS par les industries

Le traitement des PFAS peut *a contrario* être envisagé dans le domaine industriel, dès lors qu'il se fait à la source, en sortie du processus générant ces polluants : les effluents représentent des volumes limités et de qualité stable, ce qui limite les prétraitements et évite des dimensionnements trop importants. L'entreprise Daikin à Pierre Bénite a ainsi mis en place une chaîne de traitement des PFAS (essentiellement PFHxA) comprenant une station physico-chimique suivie de deux traitements de finition en parallèle : une installation d'osmose inverse pouvant être substituée par un traitement en série de deux filtres à charbon actif. Le rendement global de l'installation est compris entre 99,95 et 99,995 % (les flux de PFAS en sortie de station sont 2 000 à 20 000 fois inférieurs aux flux d'entrée).

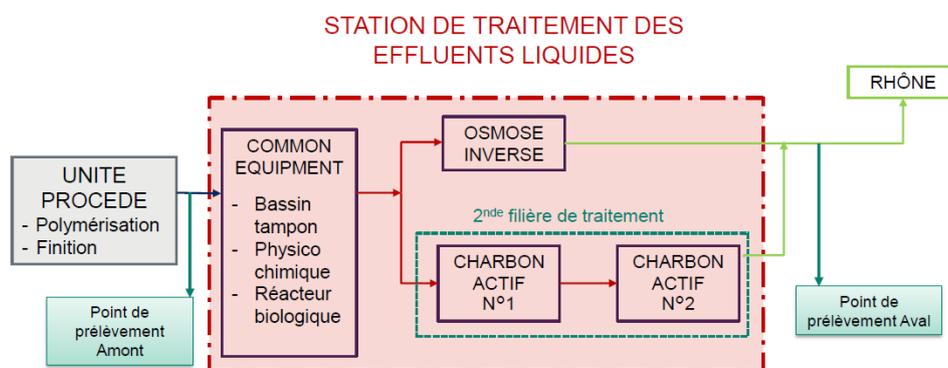


Figure 4 : Schéma de principe de la station de traitement des effluents liquides de Daikin – Source : Daikin

3.3.3 Traiter à la source les PFAS

Les traitements « end of pipe » sont donc coûteux, encore peu efficaces, voire favorisent la dispersion des PFAS dans l'environnement, par le rejet dans la rivière mais également les épandages de boues ou de leur compost ou digestat. Le rejet des eaux polluées dans les réseaux d'assainissement ne constitue donc pas une solution fiable et durable de traitement.

⁴⁷ La mission n'a pas pu vérifier cette information

Le traitement des PFAS dans les eaux usées doit donc s'inscrire dans une démarche intégrée, avec suppression ou réduction des PFAS dans le process et traitement adapté au plus près de leur émission.

La démarche RSDE engagée depuis plusieurs années a permis l'identification des stations d'épuration qui rejettent du PFOS. Cette recherche doit être étendue aux autres PFAS, mais surtout permettre de remonter à la source des PFAS et d'imposer la suppression ou une réduction de ces rejets. Cette démarche est d'ailleurs rendue obligatoire par le statut de substances dangereuses prioritaires du PFOS au titre de la DCE, qui oblige à mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles pour rechercher la réduction des rejets de PFOS puis à terme leurs suppression.

Recommandation 9. Travailler en priorité sur la réduction à la source des émissions de PFAS (substitution dans le process, réduction des pertes, traitement au plus près de leurs émissions) (DGPR, DEB).

3.4 Dépollution des sols

La mission n'a pas identifié de raison qui justifierait d'adopter une démarche autre que celle développée dans la politique des sites et sols pollués pour traiter les sites pollués aux PFAS. Cette problématique n'est encore qu'émergente du fait de l'absence de recherches des pollutions aux PFAS lors des remises en état de sites industriels ou de conversions d'anciens sites d'activité.

La recherche d'une valorisation des sites pollués aux PFAS nécessite cependant d'adapter certaines solutions techniques aux caractéristiques des PFAS. Les PFAS étant des molécules très persistantes, la majorité des technologies de remédiation des sols relèvent des méthodes d'isolement ou de séparation.

3.4.1 Méthodes éprouvées en réhabilitation des sols

Le tableau suivant liste des dispositifs aujourd'hui éprouvés en traitement des sols et qui ont été ou pourraient être utilisés sans difficultés pour le traitement des sols pollués aux PFAS.

Méthode de réhabilitation	Description	Remarques	Viabilité, efficacité
Couverture et isolement	Couverture des terres polluées par un matériau imperméable empêchant le contact avec les sols pollués, l'infiltration des eaux et la migration des PFAS vers les nappes	Encore peu voire non utilisé pour les sites contaminés aux PFAS. Non applicables lorsque les sols pollués peuvent être atteints par la nappe ou les battements de nappe	Technique mature, efficace et économiquement acceptable
Confinement hydraulique du site	Isolement des terres par une imperméabilisation latérale et supérieure et/ou création d'un cône de dépression hydrodynamique par pompage. Traitement des eaux pompées.	Nécessaire lorsque la nappe peut atteindre la zone polluée. Pose les problèmes de devenir des résidus de traitement des eaux et de la durabilité du dispositif dès lors que les PFAS ne sont pas détruits.	Technique mature, efficace. Coût élevé (impermeabilisation par paroi de bentonite, pompage, traitement des eaux)
Excavation et élimination	Extraction des sols avant stockage en décharge ou incinération. Stockage possible en « sarcophage » dédié	Pose le problème du classement des sols extraits (déchets dangereux ou non) et celui des émissions lors de l'incinération.	Technique mature, efficace. Coût élevé
Excavation et désorption thermique ex situ	Extraction des sols puis vaporisation des PFAS par la chaleur et traitement des gaz obtenus	Technique qui détruit les sols. L'efficacité du traitement des gaz pour les PFAS reste à confirmer	Technique mature, en pleine expansion. Risque de transfert de la pollution vers l'air. Coût élevé
Sorption et stabilisation	Amendement du sol avec des produits stabilisants ou adsorbants (charbons actifs le plus souvent, parfois en poudre micrométrique) pour éviter la migration des	Efficacité variable selon le PFAS et réduite si présence d'autres contaminants organiques ou de fort taux de matière organique. Question de la durabilité du	Technique en développement, dont l'efficacité reste à confirmer pour les PFAS.

	polluants vers les eaux souterraines.	dispositif en l'absence de destruction des PFAS.	
--	---------------------------------------	--	--

Tableau 7 ; méthodes éprouvées de traitement des sols qui peuvent ou pourraient être appliquées aux PFAS.

3.4.2 Autres technologies

Les autres technologies en sont encore au stade de l'expérimentation, qu'il s'agisse du lavage intensif des sols in-situ avec récupération du lixiviat, de l'oxydation électrochimique et du traitement mécano-chimique, où le sol est traité par broyage par billes d'acier en présence d'un réactif de co-broyage tel que l'hydroxyde de potassium. Oxydation électrochimique et traitement mécano-chimique donnent des résultats prometteurs, en particulier pour le second avec les familles du PFOS et du PFOA.

3.5 Élimination des PFAS

Les traitements évoqués dans les paragraphes précédents consistent pour la plupart en la séparation des PFAS de la matrice, mais ne portent pas sur la destruction des molécules de PFAS ou leur confinement total (à l'exception de l'excavation des sols suivie de leur élimination). Seuls leur destruction ou leur confinement sont susceptibles, moyennant les précautions nécessaires, d'éviter le transfert des PFAS extraits lors du traitement des eaux et de l'air et de la remédiation des sols vers un autre milieu : air, sol ou eau.

3.5.1 Restreindre la valorisation des déchets contaminés

La valorisation des déchets contaminés - déchets ménagers et assimilés (emballages alimentaires, textiles ou chaussures imperméabilisées...), déchets d'activité (industries et autres activités produisant ou utilisant des PFAS), sols pollués excavés, résidus de certains traitements des eaux (charbon actifs saturés, boues ou dérivés contaminés) ... - ne devrait pas être autorisée avant élimination des PFAS contenus, sauf cas exceptionnel.

Ainsi, le recyclage de déchets contenant des PFAS peut ainsi générer des rejets de PFAS dans l'environnement (eau, air) par les usines assurant cette fonction (cartonneries...).

De même, l'épandage de boues contaminées (y compris après compostage ou digestion) peut conduire à la pollution des sols. Il en va de même de l'utilisation de certains composts considérés aujourd'hui comme fertilisants commercialisables mais qui peuvent être pollués aux PFAS. Leur valorisation par épandage ou leur qualification de fertilisant devraient leur être interdits à compter d'un certain niveau de concentration en PFAS (très faible compte-tenu des effets cumulatifs).

L'ensemble de ces matières premières, sous-produits ou déchets devraient dès lors être dirigées vers des filières d'élimination. Des solutions d'élimination existent, dont il convient de vérifier qu'elles ne conduisent pas au transfert des PFAS vers d'autres milieux.

3.5.2 Enfouissement en centre de stockage de déchets dangereux ou non dangereux

Ces solutions offrent des garanties au regard de la protection de l'environnement, dès lors que leurs rejets de PFAS dans les eaux et l'air sont maîtrisés. Seuls les centres de stockage équipés de dispositifs de suivi et de traitement des rejets aqueux et atmosphériques pouvant démontrer leur efficacité au regard des PFAS devraient pouvoir être autorisés à recevoir des déchets ainsi contaminés.

3.5.3 Traitements thermiques

Les traitements thermiques sont actuellement les seules solutions couramment utilisées pour la destruction des PFAS, par ailleurs souvent traités avec d'autres polluants. Il peut s'agir d'incinérateurs non dédiés, à des températures de 850 à 1000°C, de pyrolyse à des températures comprises entre 300 et 900° voire plus, avec possibilité d'incinération des gaz émis pour les pyrolyses à faibles températures. Les technologies de régénération des charbons actifs utilisés pour adsorber les PFAS dans les eaux peuvent être assimilés à la pyrolyse à haute température (900°).

Les résultats obtenus sur la pyrolyse des sols et des charbons actifs saturés montrent une bonne élimination des PFAS au sein de ces médias, mais ne fournissent aucune donnée sur les rejets de PFAS dans les fumées. Une pollution de l'air est possible. L'efficacité de ces traitements en terme de rejets atmosphériques et les conditions de cette efficacité restent à confirmer : certains résultats indiquent qu'une température de 900° serait suffisante pour détruire les molécules de PFAS mais d'autres sources font état de la nécessité d'une température nettement supérieure (1300 – 1400 °C) et rarement atteinte dans les incinérateurs, si ce n'est en cimenterie. Les durées d'exposition à ces températures ne sont pas précisées⁴⁸. Des retombées ont été constatées sur des sols voisins d'incinérateur.

Ces résultats interrogent quant à l'utilisation possible de pyrolyse à faible température (300-600°) sans incinération à très haute température des gaz émis. Les PFAS pourraient n'être qu'évaporés et donc rejetés dans l'atmosphère.

Les autres dispositifs de destruction des PFAS sont en phase expérimentale exclusivement : aucune de ces solutions n'est aujourd'hui opérationnelle. Les voies les plus prometteuses visent l'oxydation des PFAS par génération in situ d'oxydants puissants tels que les radicaux hydroxyle (-OH), par photocatalyse, traitement sono-chimique ou oxydation électrochimique.

Tous ces points constituent une priorité de recherche pour apporter des réponses claires et opérationnelles à ces questions.

3.5.4 Des résidus liquides encore souvent rejetés dans le milieu

Les résidus liquides correspondent aux effluents de régénération des colonnes échangeuses et les concentrats d'osmose inverse ou de nanofiltration. Les entretiens effectués par la mission ont montré que beaucoup sont rejetés au milieu ou dans les réseaux d'assainissement d'eaux usées, y compris quand l'eau brute contient des PFAS. Il s'agit donc d'un simple transfert des PFAS de la ressource en eau utilisée vers les eaux superficielles, directement ou via le réseau d'assainissement. Dans ce dernier cas, il y a également possibilité de transfert via les boues vers les sols et les nappes.

Les volumes ainsi produits sont importants, d'un ordre de grandeur de 10 % des volumes d'eau ainsi traités⁴⁹, valeur dont il conviendrait d'étudier la faisabilité de la réduction. Il n'est pas envisageable de transporter des volumes d'eau pollués aussi importants et le traitement ne peut être envisagé que sur site, sauf à imaginer la concentration des effluents résiduels, dont l'acceptabilité économique reste à démontrer (cycle supplémentaire d'osmose inverse ou de nanofiltration). Les seules pistes de traitement seraient alors⁵⁰ :

- La filtration des concentrats sur charbons actifs, ces derniers une fois saturés suivant les voies

⁴⁸ La société Daikin à Pierre-Bénite procède à la co-incinération de ses boues de traitement physico-chimique en cimenterie à plus de 1450°C, à la régénération de ses charbons actifs saturés en PFHxA par pyrolyse à plus de 950°C.

⁴⁹ Selon les producteurs d'eau, ce rendement est obtenu après trois concentrations des concentrats d'osmose inverse ou de nanofiltration, ce qui peut sembler élevé, en particulier pour de l'osmose inverse sur eau douce.

⁵⁰ La mission a eu connaissance de la possibilité de biodégradation d'organofluorés non PFAS ou d'organochlorofluorés sur dispositif à biomasse fixée très faible charge ; il conviendrait de tester ces dispositifs pour le traitement des PFAS.

habituelles d'élimination ou de régénération⁵¹ ;

- La valorisation des effluents concentrés dans l'humidification ou la réhumidification des déchets pour leur mise en place et compactage dans des installations de stockage de déchets dangereux ou non dangereux, dès lors que les lixiviats suivent un traitement satisfaisant.

Pour des volumes faibles et de faibles concentrations, comme ceux obtenus en traitement à la source en milieu industriel l'incinération peut être envisagée⁵².

Recommandation 10. Sortir les déchets réputés contaminés par les PFAS des filières de recyclage et limiter l'acceptation de ces déchets aux seules installations adaptées : incinération à forte température (> 900°C, voire plus), « sarcophages », centres d'enfouissement de déchets garantissant l'élimination des PFAS rejetés dans ses lixiviats et émissions atmosphériques (DGPR).

⁵¹ La question devra alors être posée de l'intérêt économique d'une chaîne de traitement par nanofiltration ou osmose inverse, suivie du traitement des concentrats sur charbon actif plutôt qu'un traitement direct de l'eau par charbon actif.

⁵² C'est la solution retenue par la société Daikin pour le traitement de ses concentrats d'osmose inverse.

Conclusion

La problématique des PFAS est encore d'émergence récente : les connaissances restent limitées, que ce soit sur les méthodes de mesure, les impacts sur l'homme et l'environnement, et la réglementation reste à conforter.

Mais c'est un domaine qui évolue vite, avec des études et des initiatives réglementaires qui foisonnent sur tous les continents. Il existe un vrai besoin de rationalité et d'efficacité dans l'approche de cette problématique en retrouvant les logiques qui ont gouverné d'autres approches de prévention des impacts de substances dangereuses, persistantes et bioaccumulatrices.

La mission a acquis la conviction qu'à ce stade, les connaissances sur les risques sanitaires associés aux différents PFAS sont insuffisantes, voire absentes pour une majorité, que leur détection et leur quantification se heurtent à des difficultés analytiques majeures et qu'il n'existe pas de solutions simples et fiables pour leur destruction et leur élimination. Aucune évolution majeure n'est envisagée à court et moyen termes. S'agissant de molécules persistantes et bioaccumulatrices, dont la toxicité et le caractère CMR sont souvent suspectés, voire avérés, il semble donc raisonnable de promouvoir leur restriction dans le cadre de REACH comme le prévoient certaines initiatives européennes.

Une restriction sur ces molécules n'aura cependant d'effets qu'à long terme et une approche intégrée de la problématique PFAS doit permettre de proposer sans attendre des actions prioritaires pour limiter les risques posés par ces molécules aujourd'hui et pour un certain temps encore. En particulier, elle doit s'attacher à :

- améliorer notre base de connaissance (en termes de surveillance et d'impact pour étayer l'analyse du risque de présence) ;
- adapter et compléter notre dispositif de surveillance pour faciliter l'identification des sources de PFAS et le risque associé pour l'environnement et les populations ;
- faire évoluer les outils réglementaires, les guides existants et la sensibilisation des acteurs pour une meilleure prise en compte de la prévention du risque PFAS.

La France n'est pas le seul pays concerné par les PFAS, ni le plus concerné. Elle doit s'appuyer sur ce qu'ont fait les autres pays et travailler à des coopérations à tous les niveaux (bilatérales, européennes, multilatérales) pour améliorer notre connaissance scientifique et technique sur les PFAS et les moyens d'en réduire le risque.

L'ensemble des recommandations de ce rapport pourrait constituer les fondements d'une feuille de route gouvernementale, présentée en annexe 1.

Recommandation 11. Mettre en place une feuille de route formalisée sur les PFAS et un pilotage national par les administrations centrales du programme d'action qui en sera issu, avec l'appui des acteurs compétents (DGPR, DEB, DGS).

Hugues AYPHASSORHO



**Ingénieur général des ponts,
des eaux et forêts**

Alby SCHMITT



**Ingénieur général des ponts,
des eaux et forêts**

Annexes

1 Propositions pour une feuille de route gouvernementale : une approche intégrée de la problématique des PFAS

1.1 Appliquer les principes généraux d'environnement aux PFAS

Les principes généraux de l'environnement, inscrits dans notre droit national, trouvent pleinement à s'appliquer à la problématique des PFAS.

APPLIQUER LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION

Les connaissances sur les risques sanitaires associés aux différents PFAS sont insuffisantes, voire absentes pour une majorité. Leur détection et leur quantification se heurtent à des difficultés analytiques majeures et il n'existe pas de solutions simples et toujours adaptées pour leur destruction et leur élimination. Aucune évolution majeure n'est envisagée à court et moyen termes. S'agissant de molécules persistantes et bioaccumulatrices, dont la toxicité et le caractère CMR sont souvent suspectés, voire avérés, il semble donc raisonnable au titre du principe de précaution de promouvoir leur restriction dans le cadre de REACH comme le prévoient certaines initiatives européennes.

L'Etat français œuvrera pour une restriction Reach conduisant à une interdiction d'usage, de production et d'importation de l'ensemble des PFAS, considérés comme une classe unique.

Ce travail sera accompagné d'une préparation des entreprises à l'interdiction de l'usage des PFAS par un soutien aux programmes de recherche sur les possibilités de substitution des PFAS et l'anticipation des éventuelles reconversions nécessaires des outils de production.

APPLIQUER LE PRINCIPE DE PRÉVENTION

Les dispositifs de traitement collectif des eaux, des fumées ou des déchets pollués par les PFAS sont encore peu satisfaisants. En l'absence de garantie sur la destruction des PFAS lors de leur traitement, un sérieux doute existe sur des possibilités de transfert de pollutions vers d'autres compartiments environnementaux. Il est donc indispensable de cibler la prévention sur la réduction des PFAS à la source, sur le lieu même de leur production ou de leur utilisation.

La réglementation sur les PFAS donnera la priorité à la réduction à la source : substitution des PFAS chaque fois que c'est possible par des substances moins nocives, réduction des pertes et traitement des PFAS au plus près de leur émission.

INFORMER

Il convient de faire connaître au public et aux acteurs de l'environnement (industriels, associations, services de l'Etat, collectivités...) la problématique des PFAS dans l'environnement, leur présence dans les produits ainsi que l'importance de la prise en considération de cet enjeu.

Les voies privilégiées pour atteindre de cet objectif sont connues : information et formation des acteurs et relais d'information (ONG, établissements consulaires, branches industrielles), étiquetage des produits contenant des PFAS (consommables de l'industrie et de l'agriculture, mais aussi des produits de consommation courante : emballages alimentaires, tissus et chaussures imperméabilisés...) en indiquant les risques qu'ils présentent pour l'environnement, les précautions d'usage et les conditions de valorisation ou d'élimination des articles ou produits usagés dans les filières de déchets.

L'Etat mettra en place un programme de formation et d'information du public et des acteurs concernés sur la problématique des PFAS, leur présence dans les produits de consommation et intermédiaires, les précautions d'usage et les conditions de valorisation et d'élimination.

1.2 Améliorer les connaissances

La bibliographie sur les PFAS est déjà riche et va s'enrichir encore, comme le montre la feuille de route sur les PFAS de l'US-EPA. Il faut pouvoir exploiter au mieux les informations sur les évolutions des méthodes d'analyse, de l'impact des PFAS sur l'environnement et la santé comme sur les modes de traitement, de substitution, d'élimination et de destruction des PFAS.

Une mission de veille sera mise en place au sein des réseaux scientifiques et techniques des ministères chargés de l'environnement et de la santé. Elle produira régulièrement un document de synthèse faisant le point sur les progrès récents des connaissances en matière d'analyse, d'impact et de traitement des PFAS et les moyens de les prendre en compte dans l'action des pouvoirs publics et les programmes de recherche.

Cette veille doit être complétée par des programmes de recherche ciblés. Les principaux déficits en matière de connaissance concernent :

- les prélèvements et méthodes d'analyses dans les fumées et dans l'air et les paramètres de transfert des PFAS dans l'atmosphère ;
- les méthodes globales d'analyse et leurs sensibilités dans différentes matrices ;
- les paramètres de transfert des PFAS dans l'atmosphère ;
- les données toxicologiques et écotoxicologiques sur les PFAS ;
- la biodégradation des PFAS sur des dispositifs d'épuration par biomasse fixée faible et très faible charge (dont infiltration sur sable) ;
- la température et le temps nécessaires à la destruction par incinération des PFAS.

La France seule ne peut engager et mener l'ensemble de ces recherches.

L'Etat fera la promotion de nouveaux programmes de recherche sur les PFAS, à l'échelle européenne ou internationale, dédiés au comblement des lacunes actuelles de connaissance, en priorité dans les domaines des méthodes globales d'analyse, de la destruction des PFAS et de la toxicologie. À défaut ou en complément, un programme national sera mis en place, qui portera sur les domaines les plus critiques pour la maîtrise du risque PFAS.

Enfin, il reste des blocages quant à l'information sur les quantités et la nature des PFAS présents dans certains produits, dont les pesticides, ou sur la fourniture des données ou éléments de base pour rechercher et étudier certains PFAS, comme la mise à disposition d'étalon interne isotopique. L'obligation de fournir ces éléments par les producteurs, importateurs ou vendeurs de ces produits facilitera le travail des pouvoirs publics et des laboratoires.

La réglementation nationale ou mieux, européenne, sera adaptée pour rendre obligatoire de préciser la nature et les quantités de PFAS contenus dans les produits mis sur le marché et leurs volumes vendus en France, et de fournir tout élément technique permettant d'en déterminer les concentrations dans l'environnement, pour différentes matrices (eau, air, sol).

1.3 Améliorer la surveillance des PFAS dans l'environnement

ACHEVER LA BANCARISATION DE L'INFORMATION

Les données sur les PFAS commencent à être produites en quantité et le flux de données devrait s'accroître avec l'arrivée des échéances réglementaires, y compris dans les productions demandées ou qui seront demandées aux exploitants ou aux aménageurs (évaluations environnementales et autres). Il convient d'organiser la bancarisation et l'accès à ces informations, si possible sur une base consolidée ou en rapprochant les bases de données existantes. Le suivi des PFAS dans l'environnement ne doit pas

être séparé du suivi des émissions.

Les gestionnaires de bases de données sur les PFAS dans l'environnement (OFB, BRGM, DGS) rapprocheront leurs bases de données ou développeront une interface entre leurs bases de données, transparente au regard de l'origine des informations. L'étude de la bancarisation des données ou des documents issus des évaluations environnementales, études de sol, études sanitaires (...) sera engagée.

ADAPTER LA SURVEILLANCE

La surveillance ou la mesure des PFAS doit être étendue au-delà des seuls PFOS et PFOA et comprendre les 20 PFAS de la DEDCH ou tous les PFAS susceptibles d'être présents dans l'eau, notamment avec des rejets importants, comme c'est le cas des fluorotélomères 6:2 FTS et 8:2 FTS. Une approche hiérarchisée permettra de gagner en efficacité en économisant du temps et en réduisant le nombre de mesures.

La recherche des PFAS sera systématisée et hiérarchisée (« rationalisée »), avec mobilisation dans un premier temps de méthodes génériques (du type TOPA) ou de l'analyse du risque de présence de PFAS, puis dans un second temps, mise en œuvre d'analyses spécifiques, là où auront été détectées des contaminations ou des possibilités de contamination.

Il convient d'adapter la surveillance des milieux et des eaux potables afin de disposer au plus tôt des informations sur leur niveau de contamination et pouvoir remonter des enjeux (les eaux potables et la ressource en eau) vers les sources de pollution.

Les obligations européennes de contrôle des PFAS dans l'eau potable seront anticipées et complétées, en cas de pollution avérée, par des contrôles sur l'ensemble des points de prélèvement des eaux de l'unité de distribution.

La surveillance des eaux superficielles sera étendue aux 20 PFAS « DECDH » en précisant, lorsque c'est possible, les flux de PFAS (concentrations x débit) aux points de surveillance afin de localiser les principales sources d'émission par bassin.

Il convient d'adapter également la surveillance des rejets afin de pouvoir vérifier au plus tôt si les sites potentiels d'émissions rejettent effectivement des PFAS, préciser la nature et les quantités de PFAS émis et évaluer les risques pour l'environnement et la santé des populations. Indépendamment du suivi régulier des émissions déjà engagé au travers de l'arrêté intégré du 2 février 1998 et des arrêtés sectoriels, une action ponctuelle de recherche « rationalisée » de PFAS dans les rejets sera engagée auprès de tous les émetteurs potentiels, industriels et stations d'épuration du RSDE. Elle s'accompagnera en cas de pollution avérée de mise en place sans délais des actions de maîtrise des risques (cf. infra, chapitre 1.4).

Une opération nationale de recherche de PFAS dans les rejets des sites potentiellement émetteurs sera engagée par l'Etat par voie d'arrêtés ministériels. L'action RSDE sera menée à son terme pour identifier et caractériser les rejets de PFAS dans le réseau d'assainissement.

Ces opérations ponctuelles conduiront à compléter les surveillances réglementaires.

Les 20 PFAS « DEDCH » seront intégrés aux paramètres de suivi des rejets eau dans les arrêtés ministériels ou décrets pertinents (ICPE : arrêtés « intégré » et de filières ; IOTA : stations d'épuration et leurs épandages...), sauf à prendre en compte l'ensemble des PFAS identifiés lors de l'opération nationale de recherche. Les résultats seront bancarisés dans GEREPE.

L'inventaire établi par Antéa des sites d'utilisation de mousses AFFF (mousses antiincendie contenant des PFAS) est déjà riche. Ces sites constituent des sources de pollution importantes et restent peu

connus car ils ne relèvent pas des réglementations eau et ICPE.

L'inventaire des grands incendies d'hydrocarbures depuis les années 50 et des sites d'entraînement à l'utilisation des mousses AFFF sera achevé. Si ce n'est pas déjà le cas, ces sites seront considérés comme des sites et sols potentiellement pollués et se verront appliquées les démarches habituelles d'évaluation des risques.

AMELIORER LA CONNAISSANCE DES SOLS

La connaissance géographique de la contamination des sols par les PFAS est quasi-inexistante et nécessite d'être progressivement améliorée,

- en imposant d'abord la recherche de PFAS lors des études de remise en état des installations classées, lors de la réutilisation des sites et sols pollués et lors de grands aménagements urbains,
- puis en l'étendant aux sites d'épandage de boues ou dérivés issus de stations d'épuration contaminées et de retombées autour d'incinérateurs, sur la base de prescriptions aux exploitants producteurs de boues épandues ou d'incinérateurs ;
- enfin, en intégrant à cet état des lieux cartographique le suivi de quelques points *a priori* éloignés des sources possibles de pollution.

L'Etat établira progressivement une cartographie de la pollution des sols, en s'appuyant dans un premier temps sur les données fournies au titre des études réglementaires et de la surveillance du milieu et en les complétant par des mesures sur des sites de référence éloignés des sources possibles de pollution.

L'ensemble des mesures dans le milieu et sur les rejets devra être accompagnée par la production d'une synthèse des résultats, de leur interprétation, de leur bancarisation et de leur cartographie sous une forme adaptée à la recherche des sources de pollution.

1.4 Interpréter les résultats et engager sans tarder les actions de maîtrise du risque les plus urgentes

PILOTER ET ACCOMPAGNER LE PROGRAMME

La mise en place de la feuille de route nécessite un pilotage national par les administrations centrales pour en assurer la cohérence, la programmation et le suivi, les consolidations nationales des résultats et les suites à proposer en termes de financements ou de politiques publiques (dont la surveillance du milieu et des rejets). Un « Conseil » appuiera les administrations centrales dans ce rôle de pilotage en associant les acteurs de l'environnement ayant une expérience de la problématique PFAS ou pouvant servir de relais auprès des acteurs locaux : établissements des réseaux scientifiques et techniques de l'environnement et de la santé, cabinets conseils, fédérations professionnelles, entreprises du secteur de l'environnement et ONG. Dans un souci de simplification, ce « Conseil » pourrait être un groupe de travail ad hoc du Conseil supérieur de la prévention des risques sanitaires et technologiques (CSPRT).

L'Etat mettra en place un pilotage national de la feuille de route par les administrations centrales, avec l'appui des acteurs compétents.

La feuille de route doit s'accompagner d'un appui technique général aux acteurs locaux (Inspection des installations classées, ARS, agences de l'eau, gestionnaires de réseaux AEP et AEU, entreprises...) pour sa déclinaison locale, les adaptations nécessaires du dispositif de surveillance du milieu et des rejets, l'interprétation des résultats et les suites à donner en termes d'identification et de maîtrise des pollutions. Cet accompagnement pourrait être assuré par un groupe d'établissements des réseaux scientifiques et techniques des ministères chargés de l'environnement et de la santé. Il peut également s'appuyer sur d'autres acteurs ayant acquis une expérience nationale et internationale sur les PFAS.

L'Etat mettra en place un accompagnement technique des acteurs locaux pour la mise en œuvre opérationnelle de la feuille de route.

MAÎTRISER LE RISQUE

L'identification de sources de pollution par les PFAS ou de contaminations d'enjeux tels que les captages d'eau potable ou des secteurs d'aménagement urbain doit s'accompagner sans retard de la mise en place d'une démarche de maîtrise du risque. Cette obligation devra accompagner toutes les prescriptions ou instructions engageant des campagnes des mesures ou des suivis dans l'eau potable, les rejets ou le milieu.

Toute identification d'une pollution significative dans l'eau potable, le milieu ou des rejets fera l'objet sans délai d'une démarche de maîtrise du risque, obligation qui sera intégrée dans les prescriptions réglementaires et rappelée dans les instructions et les guides.

1.5 Exploiter et compléter la réglementation actuelle

Les réglementations environnementales sont fréquemment des réglementations d'objectifs, qui visent à prévenir les impacts en particulier sanitaires, pour l'ensemble des substances pouvant être en cause. Force est de constater que leur application ignore souvent les PFAS et leurs impacts.

Les obligations réglementaires actuelles sur la prise en compte des PFAS seront rappelées aux services par instruction et aux exploitants ou maîtres d'ouvrages par adaptation des guides. Le rappel portera en particulier sur la nécessité de prendre en compte les PFAS et leurs impacts dans les évaluations environnementales et assimilées, les analyses de risque sur sites et sols pollués et les études de danger.

Il n'existe pas ou peu de normes PFAS pour les rejets, pour la qualification des déchets ou le milieu air. Cette situation est un frein à la recherche de solutions aux problématiques actuelles. Si l'adoption de normes pour l'eau, les rejets aqueux et les déchets inertes⁵³ ne semble guère poser de difficultés, il convient de progresser dans la normalisation des méthodes de mesure et les impacts avant de pouvoir envisager d'arrêter des normes pour les fumées et l'air.

L'État établira des normes « PFAS » sur la qualité du milieu et des rejets dans l'eau et l'air et sur la contamination des produits et déchets. Il œuvrera pour leur adoption au plus tôt au niveau européen.

En l'absence de traitement des rejets assurant l'élimination des PFAS, le recyclage des produits pouvant en contenir présente un risque de dispersion des PFAS dans l'environnement. C'est le cas en particulier des boues contaminées, des emballages, des ustensiles divers ou des vêtements traités aux PFAS.

Seules doivent être autorisés à éliminer des déchets pouvant contenir des PFAS les incinérateurs ou les stockages capables de démontrer leur maîtrise des rejets de PFAS dans l'environnement.

La réglementation sera adaptée pour que les déchets réputés contaminés aux PFAS soient sortis des filières de recyclage et leur élimination limitée aux seules installations adaptées : incinération à forte température (>900°C, voire plus), « sarcophages », centres d'enfouissement de déchets garantissant la destruction des PFAS présents dans les lixiviats et les émissions atmosphériques.

⁵³ Une concentration supérieure à la LD pour chaque PFAS et pour le TOPA dans le lixiviat pourrait définir un déchet non inerte, voire un déchet ne pouvant être stocké que dans un centre d'élimination spécialisé pour l'accueil des PFAS.

2 Lettre de mission



Paris, le 08 FEV. 2022

Réf: MTE/2022-02/5062

La ministre

à

Monsieur le vice-président
du Conseil général de l'Environnement
et du Développement durable

Les per- et polyfluoroalkyles (PFAS) sont une famille composée de plusieurs milliers de substances chimiques synthétiques qui contiennent toutes des liaisons carbone-fluor, l'une des liaisons les plus solides de la chimie organique, qui leur confère une grande résistance à la dégradation. La plupart des PFAS sont également très mobiles dans l'environnement sur de longues distances, loin de la source de leur rejet. Compte tenu de leur utilisation dans de très nombreux secteurs, ils ont contaminé de nombreux compartiments de l'environnement et constituent une préoccupation majeure en Europe. Leurs propriétés sont plus précisément décrites en annexe du présent courrier.

Lors de l'examen du projet de loi Climat et Résilience au Parlement, la question de leur interdiction a été posée. Il a également été relevé la connaissance limitée de la contamination des eaux souterraines et des eaux distribuées par les réseaux publics, et l'ancienneté des données disponibles sur le sujet (rapport de l'ANSES datant de 2011).

Considérant que l'Allemagne et les Pays-Bas, soutenus par la Norvège, le Danemark et la Suède, préparaient une proposition de restriction dans le cadre du Règlement sur l'enregistrement et l'autorisation des substances chimiques (REACH), le Parlement a finalement adopté un article qui prévoit que, dans un délai de deux ans suivant la promulgation de la loi, le Gouvernement doit lui remettre un rapport sur la pollution des eaux et des sols par les substances perfluoroalkyles et polyfluoroalkyles. Ce rapport devra notamment proposer des solutions pour la dépollution des eaux et des sols contaminés.

Le BRGM a établi en juin 2020 un rapport sur les PFAS, qui établit « l'état de l'art » et décrit les enjeux dans un contexte de sites et sols pollués. Ce rapport indique que la présence de PFAS s'observe dans tous les milieux à des concentrations variables en Europe et dans le monde. Leur détection peut être associée à la présence de sources industrielles, de sites militaires, d'aires d'entraînement de lutte contre l'incendie, d'aéroports et de stations de traitement des eaux usées. De manière générale, les concentrations les plus importantes dans les sols ont été observées sur les zones d'entraînement de lutte anti-incendie, les zones d'amendement avec des boues et les sites industriels.

Hôtel de Roquelaure
246 boulevard Saint-Germain - 75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.ecologie.gouv.fr

Ce rapport donne des détails sur les campagnes de recherche et de quantification des PFAS ayant été menées en France et les données disponibles en Europe et dans le monde, en particulier dans les eaux souterraines et de surface. Les analyses sur les sols sont beaucoup moins nombreuses que celles disponibles sur les eaux. Par ailleurs, le rapport fait le point sur les méthodes d'analyse, sujet complexe en raison du grand nombre de substances en jeu et du manque d'échantillons de référence, ainsi que sur les techniques de remédiation.

Je vous demande dans ce contexte, sur la base des rapports existants (organismes internationaux, autorités nationales, agences, etc.) de présenter une analyse des risques de présence de PFAS (en distinguant les différentes familles) dans l'environnement, qu'il s'agisse des sols, notamment au droit d'anciennes activités ayant manipulé ces substances, ou des eaux souterraines, qui ont pu être contaminées via la lixiviation par les eaux de pluie.

Dans un second temps, vous ferez des propositions quant aux études et recherches à mener pour disposer de méthodes permettant de :

- mieux caractériser la présence de ces substances dans les sols et l'environnement, en vue notamment d'identifier ces substances dans le cadre des évolutions attendues de la directive cadre sur l'eau ;
- limiter les risques de transfert vers les eaux de surface ou les eaux souterraines ;
- tester plus efficacement les eaux ou les effluents chargés de ces substances ;
- réhabiliter des sites contaminés par ces substances.

Pour mener à bien votre mission, vous pourrez vous appuyer sur les services de la DGPR ainsi que sur ceux du BRGM, de l'INERIS et de l'ANSES.

Je souhaite que vous remettiez une note d'étape sous quatre mois et votre rapport définitif huit mois après réception de ce courrier.



Barbara POMPILI

ANNEXE

Les PFAS sont largement fabriqués et utilisés pour leurs propriétés uniques recherchées : stabilité à la chaleur, hydrophilie et hydrophobie. Beaucoup d'entre eux sont utilisés pour leurs propriétés tensioactives. Parmi les principaux secteurs industriels qui utilisent les PFAS, on peut citer le secteur aérospatial et la défense, l'automobile, l'aviation, le textile et l'habillement, la construction, les produits ménagers, l'électronique, la lutte contre les incendies, l'agroalimentaire et les articles médicaux.

Les préoccupations liées aux PFAS

Tous les PFAS sont très persistants dans l'environnement. Ils sont connus pour persister dans l'environnement plus longtemps que toute autre substance fabriquée par l'homme. Leur rejet et leur mobilité dans l'eau et dans l'air entraînent une contamination des eaux souterraines et de l'eau potable.

Les PFAS sont rejetés dans l'environnement à partir de sources directes et indirectes, par exemple les installations professionnelles et industrielles utilisant des PFAS, lors de l'utilisation de produits de consommation (par exemple les produits ménagers ou les vêtements) et à partir de matériaux en contact avec les aliments. L'homme peut y être exposé tous les jours. Comme souvent avec les polluants persistants, les PFAS se retrouvent dans la chaîne alimentaire. Les principaux facteurs contribuant à l'exposition alimentaire de l'homme sont certains légumes, mais l'eau potable est également une source potentiellement importante. Certains PFAS s'accumulent également dans le corps humain par le biais de la consommation d'aliments (par exemple : poisson, fruits de mer, viande, œufs, lait) et peuvent de fait présenter une toxicité par ingestion.

Certains PFAS sont toxiques pour la reproduction et peuvent nuire au développement des fœtus. Il a été démontré que plusieurs PFAS peuvent provoquer des cancers. Certains PFAS sont également suspectés d'interférer avec le système endocrinien humain, mais des tests sont en cours dans ce domaine.

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a établi en 2020 un nouveau seuil de sécurité pour les principales substances perfluoroalkylées, ou PFAS, qui s'accumulent dans l'organisme. La définition de ce seuil – une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de groupe de 4,4 nanogrammes par kilogramme de poids corporel – fait partie intégrante d'un avis scientifique sur les risques pour la santé humaine résultant de la présence de PFAS dans les aliments. Les quatre PFAS sur lesquels l'évaluation de l'EFSA s'est concentrée sont l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorononanoïque (PFNA) et l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS).

Le contexte réglementaire actuel, international, européen et national

Des actions réglementaires ont déjà été prises et d'autres sont en cours au niveau européen en particulier dans le cadre des règlements POP, REACH, CLP et de la directive eau potable. De plus, les PFAS font l'objet d'une attention particulière dans la stratégie pour la durabilité dans le domaine des produits chimiques de la Commission européenne du 14 octobre 2020, qui prévoit « toute une série d'actions pour lutter contre l'utilisation des PFAS et la contamination par ces substances. Ces actions visent en particulier à interdire l'utilisation des PFAS dans l'UE, à moins qu'il ne soit établi que cette utilisation est essentielle pour la société ». Un état des lieux de la réglementation européenne et internationale (Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants) en vigueur et en cours d'élaboration est disponible dans le rapport du BRGM cité précédemment.

Dans ce cadre du règlement REACH, les Pays-Bas et l'Allemagne, avec le soutien de la Norvège, du Danemark et de la Suède, préparent une proposition de restriction pour couvrir un large éventail d'utilisations de PFAS, à l'appui des déclarations faites lors du Conseil Environnement de décembre 2019. Ils devraient soumettre la proposition à l'Agence européenne des produits chimiques d'ici à mi-juillet 2022. Ces pays sont particulièrement moteurs sur le sujet, et avaient déjà été à l'initiative de propositions réglementaires sur des sous-familles (PFOA, PFHxA, PFHxS par exemple).

3 Liste des personnes rencontrées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
BODENEZ	Philippe	MTE-DGPR	Chef service RSEDPD	28/04/2022
DRISSI AMRAOUI	Sammy	MTE-DGPR	Chargé de mission REACH	28/04/2022
LEMAITRE	Cécile	MTE-DGPR	Chef du bureau PC	28/04/2022
LACROIX	Philippe-Marie	MTE-DEB		01/09/2022
GAY	Guillaume	MTE-DGPR		01/09/2022
METAYER	Marie-Laure	MTE-DEB		
MORICE	Emmanuel	MTE-DEB	Chef du bureau EARM4	
PAPET	Frédéric	Min Intérieur	DGSCGC – sous-directeur	30/05/2022
GROS	François	Min Intérieur	Direction des sapeurs-pompiers	30/05/2022
MERIGNANT	Isabelle	Min Intérieur		30/05/2022
CARMES	Joëlle	Min Santé	DGS	02/09/2022
COMBOROURE	Jean-Christophe	Min Santé	DGS	02/09/2022
CONTASSOT	Emmanuel	Min Santé	DGS	02/09/2022
PAUL	Caroline	Min Santé	DGS	02/09/2022
FELIERS	Corinne	Min Santé	DGS	02/09/2022
JEDOR	Beatrice	Min Santé	DGS	02/09/2022
MERLE	Carole	Min Santé	DGS	02/09/2022
LEFEBVRE	Barbara	Min Santé	DGS	02/09/2022
PICHEROT	Mélanie	Min Santé	DGS	02/09/2022
DAUCHY	Xavier	ANSES		13/04/2022
BACH	Cristina	ANSES		13/04/2022
MICHEL	Pascale	BRGM		25/04/2022
MERLY	Corinne	BRGM		25/04/2022
LIONS	Julie	BRGM		25/04/2022
LOPEZ	Benjamin	BRGM		25/04/2022
COLOMBANO	Stefan	BRGM		25/04/2022
WINCKEL	Anne	BRGM	Cheffe de projet ADES	16/05/2022
GOURCY	Laurence	BRGM	Cheffe d'unité projet ADES	16/05/2022
BRIGNON	Jean-Marc	INERIS		29/04/2022
BOUCARD	Pierre	INERIS		29/04/2022
PARTAIX	Hélène	INERIS		19/05/2022
FRABOULET	Isaline	INERIS		01/06/2022
LETHIELLEUX	Laurence	INERIS		
ESCAFFRE	Rémy	OFB		03/06/2022
PRUDHON	Philippe	France-CHIMIE	Directeur affaires techniques	17/06/2022
ZIMMER	Marie	France-CHIMIE	Responsable management production	17/06/2022
CAROLY	Céline	France-CHIMIE	Expert environnement	17/06/2022
LEOPOLD	Thomas	France-CHIMIE	Expert toxicologie	17/06/2022

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
MATHIEU	Tristan	FP2E	Délégué général	02/06/2022
BRUNET	Laurent	FP2E	Président de la commission scientifique et technique	02/06/2022
PIERONNE	Pierre	FP2E	commission scientifique et technique	02/06/2022
BLANCHET	Frédéric	FP2E	commission scientifique et technique	02/06/2022
DUJARDIN	Anne	FP2E		02/06/2022
de la HOUGUE	Christel	UPDS	Déléguée générale	14/06/2022
ARCANGELI	Camille	UPDS		14/06/2022
AUGY	Sandrine	UPDS	ABO ERG	14/06/2022
BOISSON	Jolanda	UPDS	Antéa Group	14/06/2022
ROBIN	Anne-Kévine	UPDS	GINGER BURGEAP	14/06/2022
KASKASSIAN	Sébastien	UPDS	TAUW France	14/06/2022
SENECHAUD	Jonathan	UPDS	COLAS Environnement	14/06/2022
DIERICK	Malorie	UPDS	REMEA	14/06/2022
DEVIC-BASSAGET	Boris	UPDS	SARPI-Véolia	14/06/2022
CARRONNIER	Hugo	UPDS	VALGO	14/06/2022
JAY	Laurent	UPDS	SARPI-Véolia	14/06/2022
FAISQUES	Patrick	Véolia	Directeur Suez Environnement	20/06/2022
DINGHEM	Séverine	Véolia	Directrice Soutien métiers performance	20/06/2022
POURADIER	Stanislas	Véolia		20/06/2022
HERCULE	Sarah	Véolia		20/06/2022
HUMEZ	Nicolas	Véolia	Responsable Déchets dangereux	20/06/2022
BONNEMAINS	Jacky	Robin Des Bois	Directeur	30/05/2022
MARSEILLE	Gaël	DAIKIN Chemical	Directeur usine de Pierre-Bénite	30/09/2022
ESSANDONE	Jonas	DAIKIN Chemical	Usine de Pierre-Bénite	30/09/2022
TOCI	Mathieu	DAIKIN Chemical	Usine de Pierre-Bénite	30/09/2022
Autres personnes contactées par courriels				
CASTEROT	Baptiste	Agence de l'eau Seine-Normandie	Chargé de mission Qualité des eaux superficielles et modélisation	07/04/2022
ASTIER-COHU	Kristell	Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse	Directrice du département de la connaissance et de la planification	11/03/2022
BONNEVILLE	Sarah	DREAL AURA	Cheffe de pôle déléguée - Pôle Risques Chroniques	30/05/2022

4 Liste des principaux PFAS et leurs acronymes

Source BRGM – rapport 69594-FR

ACRONYME	NOM
PFAS	SUBSTANCES ALIPHATIQUES FLUOREES / COMPOSES POLYFLUORO ET PERFLUORO ALKYLES
COMPOSES PERFLUORES	
PFAA	<i>acide d'alkyls perfluorés</i>
<i>PFCA</i>	<i>acide carboxylique (ou carboxylate) d'alkyls perfluorés / acides perfluorocarboxyliques</i>
PFPrA	acide perfluoropropanoïque / carboxylate de perfluoropropane (C3)
PFBA	acide perfluorobutanoïque / carboxylate de perfluorobutane (C4)
PFPeA	acide perfluoropentanoïque / carboxylate de perfluoropentane (C5)
PFHxA	acide perfluorohexanoïque / carboxylate de perfluorohexane (C6)
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque / carboxylate de perfluoroheptane (C7)
PFOA	acide perfluorooctanoïque / carboxylate de perfluorooctane (C8)
PFNA	acide perfluorononanoïque / carboxylate de perfluorononane (C9)
PFDA	acide perfluorodécanoïque / carboxylate de perfluorodécane (C10)
PFUnA / PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque / carboxylate de perfluoroundécane (C11)
PFDoA / PFDoDA	acide perfluorododécanoïque / carboxylate de perfluorododécane (C12)
PFTTrA / PFTTrDA	acide perfluorotridécanoïque / carboxylate de perfluorotridécane (C13)
PFTeA / PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque / carboxylate de perfluorotétradécane (C14)
PFHxDA	acide perfluorohexadécanoïque / carboxylate de perfluorohexadécane (C16)
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque / carboxylate de perfluorooctadécane (C18)
<i>PFSA</i>	<i>sulfonate (ou acide sulfonique) d'alkyls perfluorés / acides perfluorosulfoniques</i>
PFBS	sulfonate de perfluorobutane / acide perfluorobutanesulfonique (C4)
PFHxS / PFHS	sulfonate de perfluorohexane / acide perfluorohexanesulfonique (C6)
PFHpS	sulfonate de perfluoroheptane / acide perfluoroheptanesulfonique (C7)
PFOS	sulfonate de perfluorooctane / acide perfluorooctanesulfonique (C8)
PFDS	sulfonate de perfluorodécane / acide perfluorodécanesulfonique (C10)
<i>PFI</i>	<i>alkyls perfluorés iodés</i>
<i>PFPA</i>	<i>acides phosphoniques d'alkyls perfluorés</i>
FASA	<i>Sulfonamides de perfluoroalcanes / sulfonamides d'alkyls perfluorés</i>
FOSA / PFOSA	perfluorooctanesulfonamide

ACRONYME	NOM
PFAS	SUBSTANCES ALIPHATIQUES FLUOREES / COMPOSES POLYFLUORO ET PERFLUORO ALKYLES
	COMPOSES POLY-FLUORES ALKYLES
FTOH	fluorotélomère alcool
6:2 FTOH	alcool du 6:2 fluorotélomère
8:2 FTOH	alcool du 8:2 fluorotélomère
FTCA	acide carboxylique de fluorotélomère
5:3 FTCA	acide carboxylique du 5:3 fluorotélomère
FTSA	acide sulfonique de fluorotélomère
6:2 FTSA	acide sulfonique du 6:2 fluorotélomère
4:2 FTS	1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorohexanesulfonic Acid (H4-PFHxS)
6:2 FTS	sulfonate de 6:2 fluorotélomère
8:2 FTS	1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorodecanesulfonic Acid (H4-PFDeS)
10:2 FTS	1H, 1H, 2H, 2H-Perfluoroundecanesulfonic Acid (H4-PFUdS)
	autres fluorotélomères
6:2 FTAB	sulfonamide alkylbétaine du 6:2 fluorotélomère
FTI	fluorotélomères iodés
FTAC	fluorotélomères d'acrylates
FTMAC	fluorotélomères de métacrylates
	dérivés des sulfonamides d'alkyls perfluorés
FASE	éthanol de sulfomanide d'alkyls perfluorés
FASAA	acide acétique de sulfomanide d'alkyls perfluorés
	phosphate d'alkyls polyfluorés
PAP	esters d'acide phosphoriques d'alkyls polyfluorés
6:2 diPAP	6:2 Fluortelomerphosphatediester
8:2 diPAP	8:2 Fluortelomerphosphatediester
	Polymère perfluorés
PFA	perfluoroalkoxy polymer
FEP	fluorinated éthylene-propylene polymer

ACRONYME	NOM
PFAS	SUBSTANCES ALIPHATIQUES FLUOREES / COMPOSES POLYFLUORO ET PERFLUORO ALKYLES
	COMPOSES POLY-FLUORES ALKYLES
	<i>Précurseurs du PFOS</i>
PFOSF ou POSF	fluorure d'heptadécafluorooctane sulfonyle
FOSA / PFOSA	Perfluorooctanesulfonamide
N-Et-FOSE alcohol	2-N-éthylperfluorooctane sulfonamidoéthanol / N-éthylheptadécafluoro-N-(2hydroxyéthyl)octanesulfonamide
N-Et-FOSA	2-N-éthylperfluorooctanesulfonamide / N-éthylheptadécafluorooctanesulfonamide
N-Me-FOSE alcohol	2-N-méthylperfluorooctane sulfonamidoéthanol / heptadécafluoro-N-(2-hydroxyéthyl)-Nméthyl octanesulfonamide
N-Me-FOSA	2-N-méthylperfluorooctane sulfonamide / heptadécafluoro-Nméthyl octanesulfonamide
N-Me-FOSEA	acrylate de 2-[[heptadécafluorooctyl) sulfonyl]méthylamino]éthyle
N-Et-FOSEA	acrylate de 2-[éthyl[(heptadécafluorooctyl) sulfonyl]amino]éthyle

5 Les PFAS, de multiples substances persistantes, mobiles et potentiellement dangereuses

Une multitude de substances

Les PFAS (poly and perfluoroalkyls substances) dont tous les carbones de la chaîne carbonée (alkyle) sont substitués par des fluors sont appelés perfluoroalkylés ; si au moins un carbone est totalement substitué mais que tous les carbones ne le sont pas, ils sont dénommés polyfluorés. Lorsque la chaîne alkyle compte moins de 6 à 8 atomes de carbone, on parle de PFAS à chaîne courte, lorsqu'elle en compte plus on parle de PFAS à chaîne longue. Une même substance peut être présente sous différentes formes isomériques, ramifiées ou non.

On compte plusieurs milliers de molécules PFAS différentes, dont environ 800 sont exploitées depuis les années 50 dans de multiples usages, sous formes polymères ou non-polymères (monomères, oligomères).

On distingue 3 grandes familles de PFAS non-polymères :

- Les PFCA : acides carboxyliques perfluorés ou carboxylates perfluorés (forme ionisée), dont le plus connu est le PFOA (acide perfluorooctanoïque, dont la chaîne compte 8 carbones) ;
- Les PFSA : acides sulfoniques perfluorés ou sulfonates perfluorés (forme ionisée), dont le plus connu est le PFOS (acide perfluorooctane sulfonique, dont la chaîne compte 8 carbones) ;
- Les composés polyfluorés, dont les fluoro-télomères (FTS), désignés sous le terme générique de « précurseurs » ; ils sont formés de chaînes polyfluorées associées à des groupes acides sulfoniques, phosphoriques (PAP), des alcools (alcools fluorotélomères ou FTOH), des sulfonamines...

Des substances très stables, persistantes

La liaison carbone-fluor possède une énergie de liaison élevée (485 kJ/mol), ce qui fait des PFAS des composés quasiment non dégradés dans l'environnement (sauf dégradations intermédiaires de PFAS en d'autres PFAS stables, comme le PFOS et le PFOA), que ce soit par voies biologiques, photolytique ou thermique. Cette caractéristique de persistance les fait parfois appeler « polluants éternels ».

Des substances mobiles dans l'environnement et bioaccumulables

Du fait de leur présence dans de nombreux produits et rejets industriels et urbains ce sont des polluants ubiquistes qui imprègnent largement l'environnement, où ils sont bioaccumulables.

Beaucoup de PFAS ont un caractère amphiphile provenant de l'association de leur chaîne carbonée hydrophobe et de leur groupement fonctionnel hydrophile en bout de chaîne. Les propriétés tensioactives qui en découlent sont utilisées dans diverses applications industrielles et ont également pour conséquence des comportements complexes dans l'environnement : on les retrouve dans l'eau, adsorbés sur les matières en suspension et les particules du sol, ainsi que dans l'air.

D'après un rapport de l'agence suédoise des produits chimiques (KEMI, 2015), les polymères à chaînes latérales fluoroalkyles représenteraient le groupe majoritaire de la classe des PFAS (plus de 600 congénères). Néanmoins, par manque d'information sur la structure de toutes les substances et l'absence de méthodes analytiques adaptées, l'étendue de la contamination environnementale par ce type de PFAS reste inconnue.

Les PFAS ont des persurances variables dans l'environnement, souvent en rapport avec la longueur de leur chaîne carbonée, et sont souvent dégradés dans les stations d'épuration ou dans l'environnement en PFAS à chaîne plus courte, comme le PFOA ou le PFOS. Leur dégradation par chauffage peut être à l'origine de polluants dans l'atmosphère (produits de dépolymérisation de PFAS, PFB, CF₄, ...), ce qui peut être un problème dans les cas d'incinération de déchets (voir chapitre 3). Par ailleurs, la synthèse des substances PFAS utilisées dans l'industrie peut être à l'origine d'impuretés et de rejets dans

l'environnement.

Le rapport de biosurveillance Estéban de Santé Publique France publié en septembre 2019, pour la première fois en France, montre la persistance des composés perfluorés dans l'environnement malgré les restrictions d'utilisation des PFAS. Si sept étaient quantifiés à plus de 40 % chez les adultes et six chez les enfants, le PFOA et le PFOS l'étaient quant à eux à 100 %, aussi bien chez les enfants que chez les adultes.

Le tableau 8, issu de ce rapport, montre des niveaux de contamination moyens supérieurs ou égaux à 1 µg/l de sérum humain pour quatre PFAS parmi les plus utilisés et retrouvés. Les niveaux de contamination sont même de l'ordre de 4 µg/l pour le PFOS et de 2 µg/l pour le PFOA.

Ce rapport compare également les résultats d'imprégnation de la population française par les composés perfluorés obtenus lors de ces campagnes 2014 - 2016 avec ceux de plusieurs études conduites en Europe, au Canada, aux Etats-Unis et dans d'autres pays étrangers ont permis de mesurer les niveaux d'imprégnation auprès des adultes en population générale. La comparaison a été faite sur neuf PFAS, dont PFOA, PFOS, PFHxS et PFNA.

Le tableau 8< extrait de ces résultats plusieurs comparaisons pour les quatre PFAS précédemment cités.

Les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés mesurés en France dans le cadre de l'étude Estéban apparaissent globalement similaires à ceux des autres pays.

On peut toutefois noter quelques différences mineures, non expliquées par l'étude :

- le niveau de contamination par le PFOS était bien inférieur en France à celui observé aux Etats-Unis, au Canada et en Espagne
- les résultats des Etats-Unis montraient des niveaux d'imprégnation plus faibles pour le PFOA et le PFDA.

Tableau 8 : comparaison des concentrations sériques moyennes en composés perfluorés (en µg/l) observées chez les adultes en France et à l'étranger

(source : extraits du rapport Estéban septembre 2019 - Santé Publique France)

Pays	Année	Population	Matrice	Moyenne géométrique µg/l	P 95* µg/l
PFOA					
France - Estéban	2014-2016	18-74 ans	Sérum	2,08	5,26
Espagne -BioAmbient	2009-2010	18-65 ans	Sérum	1,99	5,48
Canada ECMS (cycle 2)	2009-2011	12-79 ans	Plasma	2,30	5,30
Etats-Unis, Nhanes	2015-2016	≥20 ans	Sérum	1,60	4,27
République Tchèque	2015	18-65 ans	Sérum	0,72	ND*
Allemagne Site A	2015	18-67 ans	Plasma	26,90	85,80
Allemagne Site B	2015	18-67 ans	Plasma	2,80	8,50
Allemagne Site C	2016	18-67 ans	Plasma	1,20	2,40
Corée du Sud	2009-2010	18-69 ans	Sérum	2,85	8,82
PFOS					
France -Esteban	2014-2016	18 -74 ans	Sérum	4,03	13,54
Espagne -BioAmbient	2009-2010	18-65 ans	Sérum	7,67	19,33
Canada ECMS (Cycle 2)	2009-2011	12-79 ans	Plasma	6,50	19,00
Etats-Unis, Nhanes	2015-2016	≥20 ans	Sérum	5,02	19,10
République Tchèque	2015]	18-65 ans	Sérum	2,29	ND*
Allemagne Site A	2015	18-67 ans	Plasma	3,30	13,50
Allemagne Site B	2015	18-67 ans	Plasma	2,70	8,90
Allemagne Site C	2016	18-67 ans	Plasma	2,60	6,40

Corée du Sud	2009-2010	18-69 ans	Sérum	10,23	23,39
--------------	-----------	-----------	-------	-------	-------

PFHxS					
France -Esteban	2014-2016	18 -74 ans	Sérum	1,37	3,42
Espagne -BioAmbient	2009-2010	18-65 ans	Sérum	0,91	2,84
Canada ECMS (Cycle 2)	2009-2011	12-79 ans	Plasma	1,80	8,90
Etats-Unis, Nhanes	2015-2016	≥20 ans	Sérum	1,22	5,00
République Tchèque	2015	18-65 ans	Sérum	0,17	ND*
Allemagne Site A	2015	18-67 ans	Plasma	0,40	0,90
Allemagne Site B	2015	18-67 ans	Plasma	0,40	0,80
Allemagne Site C	2016	18-67 ans	Plasma	0,70	1,50
Corée du Sud	2009-2010	18-69 ans	Sérum	0,49	4,87
PFNA					
France -Esteban	2014-2016	18 -74 ans	Sérum	0,80	1,91
Espagne -BioAmbient	2009-2010	18-65 ans	Sérum	0,96	2,44
Canada ECMS (Cycle 2)	2009-2011	12-79 ans	Plasma	0,82	1,90
Etats-Unis, Nhanes	2015-2016	≥20 ans	Sérum	0,59	1,90
République Tchèque	2015	18-65 ans	Sérum	0,30	ND*
Allemagne Site A	2015	18-67 ans	Plasma	0,70	3,00
Allemagne Site B	2015	18-67 ans	Plasma	0,50	0,90
Allemagne Site C	2016	18-67 ans	Plasma	0,40	0,80
Corée du Sud	2009-2010	18-69 ans	Sérum	0,97	4,88

* ND : non détecté ; P95 = percentile 95 : 95 % des valeurs mesurées sont en dessous.

Des effets toxiques sur l'homme

Les propriétés physicochimiques des PFAS, liées à la taille de la chaîne et à leurs groupes fonctionnels, donnent lieu à deux théories sur leurs mécanismes de bioaccumulation ou de bioamplification : soit par liaison avec les protéines telles que l'albumine sérique, soit par liaison avec des phospholipides membranaires, ce qui pourrait entraîner une plus grande bioaccumulation et distribution, ainsi qu'une plus grande difficulté d'élimination.

Les études toxicologiques menées sur quelques PFAS montrent des effets sur la toxicité hépatique et rénale, le diabète, l'hypercholestérolémie, des effets hématologiques et sur la reproduction, ainsi qu'une suspicion d'effet sur le développement des cancers chez l'homme, comme il a été démontré chez les animaux exposés.

Le Département américain de la santé et des services sociaux a publié une série de rapports techniques sur les effets toxicologiques causés par l'exposition chronique aux substances perfluorées sulfonées et carboxylées chez les rongeurs. Les résultats ont montré que l'exposition au PFOA est associée à une toxicité pour le foie, les reins et la glande thyroïde, et à une certaine activité cancérigène.

Plusieurs PFAS agissent, de plus, comme des perturbateurs endocriniens, augmentant le risque de troubles du développement neuronal et des problèmes d'obésité. Ils altèrent également la production de cytokines et l'activation des cellules immunitaires humaines.

Des études font état d'effets négatifs sur divers processus de développement du fœtus en cas d'exposition maternelle aux PFOS, PFOA et PFNA, en l'associant à un faible poids à la naissance une réponse immunitaire altérée dans la petite enfance, au risque de fausse couche (PFDA), d'accouchement prématuré et de pré éclampsie (PFOS). Des études in vitro et in vivo ont montré que l'exposition aux PFAS a des effets négatifs sur les processus biologiques essentiels de l'ovaire, tels que la folliculogénèse et la stéroïdogénèse, ainsi que la diminution conséquente de la réserve ovarienne,

qui sont également liées aux cycles menstruels irréguliers et plus longs, aux règles tardives et à la ménopause précoce.

6 Une caractérisation complexe de la présence des PFAS dans l'environnement

Compte-tenu de la multitude des substances PFAS et de la faiblesse des concentrations auxquelles on les trouve dans l'environnement et les organismes vivants et auxquelles elles sont susceptibles d'avoir des impacts, l'amélioration des techniques de détection et quantification de ces substances est de première importance. L'identification de concentrations de l'ordre du ng/l (10-9g/l, c'est-à-dire une partie par milliard (1 ppb)) constitue un challenge technologique nécessitant le respect de procédures très précises, depuis le prélèvement jusqu'à l'analyse.

Ce domaine relève de compétences d'analyse chimique de pointe et relève encore largement du champ de la recherche.

On distingue des méthodes visant des caractérisations ciblées sur une substance donnée, appelées ci-dessous « méthodes spécifiques », ou visant un ensemble cumulé de substances, appelées « méthodes globales ».

Une méthode dominante d'analyse spécifique des PFAS faisant l'objet de nombreux travaux internationaux : la chromatographie liquide haute performance couplée spectrométrie de masse en tandem

Des méthodes d'analyse spécifiques de PFAS ont été « normalisées » à l'échelon international comme à l'échelon français, telle la norme ISO 25101:2009 « Qualité de l'eau - Détermination du sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et de l'octanoate perfluoré (PFOA) », la norme allemande DIN 38407-42 pour l'analyse de dix per- et polyfluorés ou la méthode publiée par l'US EPA (Environmental Protection Agency) Method 537 (2009) pour l'analyse de 14 perfluorés dans les eaux.

Le laboratoire de référence français AQUAREF a également produit une fiche de référence MA-09 pour l'analyse du PFOA et du PFOS (chaîne en C8) avec une limite de détection (LD) à 2 ng/l, puis en 2018 une fiche de référence MA-74 pour l'analyse des composés perfluorés à chaîne carbonée de C6 à C10 dans l'eau brute avec une LD à 1 ng/l. Le protocole d'analyse mobilise une chromatographie liquide ultra-haute performance couplée à un spectromètre de masse en tandem (UHPLC/MS/MS) avec ionisation par électro-nébulisation en mode négatif (ESI-).

Cette méthode permet de doser des acides sulfoniques perfluorés (PFSA : PFOS, PFHxS, PFHpS et PFDS), des acides carboxyliques perfluorés (PFCA) de C4 à C14 et plusieurs fluorotélomères (FT) dans les matrices eaux, sols, sédiments, boues... moyennant des protocoles adaptés d'extraction-préparation-purification des échantillons (pour la matrice eau : extraction sur phase liquide ou solide ; pour les matrices sol, sédiment, boue : extraction sur phase solide et à l'acide acétique).

Elle est appliquée pour analyser des molécules déjà identifiées sur un chromatogramme HPLC par étalonnage interne, c'est-à-dire un nombre limité de substances (les étalons marqués commerciaux sont fournis par les laboratoires spécialisés seulement pour quelques dizaines de PFAS, 30 ou 40, sur un potentiel de substances de plusieurs milliers !).

Les nombreuses recherches en cours portent tant sur les techniques de préparation des échantillons (micro-extraction en phase solide (SPME) par automates, micro-extraction dispersive liquide-liquide (DLLME), etc.), que de séparation (LVI – HPLC (Large volume injection – chromatographie liquide haute performance), dilution isotopique, ...) ou de détection (Spectrométrie de masse avec détection quadripole « time of flight » (QTOF-MS), ...).

A des teneurs mesurées aussi faibles, les risques de contamination ou d'adsorption du fait du flaconnage lors du prélèvement comme de l'analyse ou des matériels de détection doivent être maîtrisés par l'analyse régulière de blancs analytiques. Le recours à des étalons internes isotopiques est indispensable pour garantir la fiabilité des résultats.

Le blanc analytique est une analyse réalisée sur un échantillon représentatif ne contenant pas l'analyte d'intérêt, en mettant en œuvre le processus d'analyse dans sa globalité (mêmes réactifs, mêmes

quantités de produit et mêmes équipements de préparation et d'analyse que pour les échantillons). Il s'agit d'un contrôle qualité réalisé régulièrement dont l'objectif est d'évaluer une éventuelle contamination de la chaîne de mesure pour un paramètre donné, et qui, le cas échéant peut être intégré dans le calcul du résultat final de ce paramètre.

Un étalon interne est une substance, non contenue a priori dans un échantillon, possédant des propriétés physico-chimiques aussi proches que possible de celles de l'analyte qui doit être quantifié. Cette substance est ajoutée à l'échantillon dans l'objectif de corriger les pertes et les effets matrice pouvant subvenir lors de l'analyse. La dilution isotopique est une méthode utilisant les homologues marqués des analytes comme étalons internes. Cette approche est basée sur le fait que les molécules et leurs homologues ou analogues marqués ont des formules chimiques qui ne diffèrent que par la substitution d'un ou plusieurs atomes par leurs isotopes stables ce qui garantit un comportement chimique similaire lors de la préparation de l'échantillon.

La mise en œuvre de la dilution isotopique par utilisation d'étalons internes permet de s'affranchir des effets potentiels liés à la préparation d'échantillon et des effets liés à sa matrice sur la détection et la quantification de l'analyte. Elle apporte une amélioration de la précision de l'analyse.

En complément de la méthode dominante HPLC/MS/MS, de nombreux PFAS ont pu être identifiés depuis quelques années par l'utilisation de la spectrométrie haute résolution. Des méthodes d'extraction en ligne en chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse en tandem (LC-MS/MS) ont également été développées pour l'analyse des PFAS dans les eaux ou le plasma, permettant de réduire les prises d'essai, réduire le temps de préparation et limiter les problèmes de contamination.

Des méthodes d'analyse globale plus éprouvées

La plus utilisée est la méthode TOPA (Total Oxidizable Precursors Assay), qui consiste à provoquer l'oxydation des précurseurs, pour les transformer en PFCA et PFSA, dosés comme décrit précédemment.

D'autres méthodes sont utilisées par analyse du Fluor Total ou du Fluor Organique Total, à rapprocher des méthodes sur les organohalogénés EOX et AOX :

- l'une par dosage du fluor organique extractible (EOF) permet d'accéder à un indice fluor issu des formes organofluorées neutres et anioniques ; il consiste en une extraction sur polymère échangeur d'anions faibles suivie d'une élution au méthanol et d'un dosage du fluor dégagé.

- l'autre par dosage du fluor organique adsorbable (AOF) permet d'accéder à un plus grand nombre de molécules adsorbables sur charbon actif. La pyrolyse du piège d'adsorption permet de briser les liaisons C-F. Le fluor est dosé par chromatographie ionique de combustion (CIC).

Enfin, diverses méthodes d'analyse globale sont en développement

- **méthode PIGE** (Proton induced Gamma-ray emission). Cette méthode d'analyse du rayonnement γ émis lors d'une réaction nucléaire mobilisant des particules à haute énergie nécessite un équipement de laboratoire très sophistiqué qui rend son utilisation impossible en routine.

- **capteurs optiques** : les développements récents dans les systèmes de détection optique des polluants dans l'environnement s'intéressent aux composés POP, notamment aux PFAS, en utilisant le PFOS et le PFOA comme modèles. Les systèmes investigués portent sur divers mécanismes de fonctionnement, emploient différents types de matériaux de détection. L'application de capteurs optiques en combinaison avec les avancées technologiques de l'électronique grand-public, tels que les smartphones, etc., ouvrent de nouvelles perspectives pour le développement de solutions efficaces, plates-formes de détection peu coûteuses et conviviales pour des tâches d'application concrètes, y compris la surveillance et l'analyse quantitative des POP.

Récemment, différents nanomatériaux fluorescents ont été utilisés pour construire des sondes optiques pour la surveillance du PFOS et du PFOA dans les échantillons aqueux, dont les résultats sont prometteurs :

- Sonde UCNPs@COFs

Li et al. 2019 ont proposé une approche de détection très sensible d'ultra-traces de PFOS, basée sur une nouvelle sonde fluorescente, intégrant les avantages des nanoparticules de conversion ascendante, UCNP, et les cadres organiques covalents COF.

- Sonde NCD

Lin et al. 2019 ont proposé un détecteur à chimiluminescence d'azote (NCD). Cette nanosonde a montré une grande sélectivité pour le PFOS même en présence d'autres ions courants tels que les ions métalliques, les anions et les analogues tels que les tensioactifs. Des résultats satisfaisants ont été obtenus pour la détermination de PFOS dans des échantillons d'eau réelle enrichis.

- Capteurs MIP

Tian et al. ont proposé pour la détection du PFOS une sonde à empreinte moléculaire par fluorescence à excitation proche infrarouge. Elle est fondée sur le principe de l'empreinte moléculaire : dans les capteurs à polymères à empreinte moléculaire, la couche de détection sensible du nanomatériau optique polymère (nanoparticules de conversion ascendante dopées aux lanthanides) est obtenue en laissant dans le polymère une empreinte exacte, et donc très sélective, de la molécule à détecter.

- Nanomatériaux à Guanidino Calixarènes

Zheng et al. utilisent la liaison nanomoléculaire constatée entre d'une part PFOS et PFOA et d'autre part les guanidino calixarènes pour parvenir à une détection sensible et quantitative du PFOA et du PFOS, dans l'eau du robinet et du lac, par spectrométrie de masse en tandem utilisant une stratégie IDA.

Dosage immuno-enzymatique

La méthode de dosage immunologique de type ELISA (« Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay » ou « dosage immuno-enzymatique sur support solide ») repose sur le principe de la formation d'un complexe antigène-anticorps entre la molécule à doser (antigène) et un anticorps capable de la reconnaître spécifiquement.

Bien que des kits ELISA aient été développés pour de nombreuses molécules carbonées, comme le glyphosate ou l'atrazine, ou pour des familles de composés (par exemple les HAP ou les PCB), la mission CGEDD n'a pas identifié dans la bibliographie de publication sur l'application à des PFAS, ni de kits ELISA développés pour l'analyse de PFAS.

Les rares tentatives qui ont été menées dans ce sens semblent avoir conclu, pour l'heure, à l'impossibilité d'obtenir des courbes d'inhibition du PFOA et du PFOS pour tous les anticorps testés.

7 De multiples usages des PFAS et des réglementations et normes en construction

Règlement REACH et substances extrêmement préoccupantes (SVHC)

Le règlement REACH vise à supprimer progressivement dans l'Union européenne les substances chimiques les plus dangereuses. Pour cela, la charge de la preuve de l'innocuité des produits chimiques couramment utilisés est inversée : c'est à l'industriel (et l'importateur) de démontrer l'innocuité de ces substances pour l'homme et la nature, par des études sur les risques sur la santé humaine et sur l'environnement, avant leur mise sur le marché ou leur utilisation.

REACH vise toutes les substances chimiques, produites ou importées, existantes ou nouvelles, à partir d'un volume annuel supérieur à une tonne, soit trente mille substances. L'agence européenne des produits chimiques (ECHA) enregistre les molécules, les fait évaluer et les enregistre dans une base de données accessible aux entreprises, aux particuliers et aux ONG.

Il soumet certaines substances à :

- « **autorisation** » (annexe XIV)

Ce régime interdit globalement tous les usages d'une substance listée dans l'annexe (notamment les SVHC) mais permet des dérogations pour des usages précis, après avis de comités d'experts ;

ou

- « **restriction** » (annexe XVII)

Ce régime interdit certains usages précis d'une substance (ou d'une classe de substances) listée, après avoir étudié les substitutions industrielles possibles.

Le règlement REACH identifie des « SVHC » (Substances of Very High Concern), substances extrêmement préoccupantes, qui sont des substances ou des groupes de substances chimiques pouvant causer des effets néfastes sur l'homme ou l'environnement :

- CMR : cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction ;
- PBT : persistantes dans l'environnement ou les organismes (faiblement dégradables), bioaccumulables et toxiques ;
- vPvB : très persistantes et très bioaccumulables ;
- Substances qui présentent un niveau de préoccupation équivalent aux substances précédentes, comme les perturbateurs endocriniens.

Le règlement REACH octroie au consommateur un « droit de savoir » (article 33) sur la présence des substances extrêmement préoccupantes dans les articles.

Les SVHC sont inscrites sur une liste gérée par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) et mise à jour deux fois par an. A ce jour, cette liste comprend 219 substances. Ces substances sont candidates pour un examen approfondi, en vue, éventuellement de leur inscription sur la liste des substances dont l'usage sera soumis à l'obtention d'une autorisation.

Le règlement REACH stipule que les SVHC doivent être contrôlées et substituées, c'est-à-dire remplacées par d'autres substances dont les propriétés ne sont pas préoccupantes, lorsque cela est possible techniquement et viable économiquement.

Si un article contient des substances présentes dans cette liste, cela ne signifie pas nécessairement qu'il présente un risque si le consommateur n'y est pas exposé. Les consommateurs peuvent toutefois s'informer à leur sujet, en raison de leurs propriétés indésirables. C'est ce qui est prévu à l'article 33 du règlement.

En s'informant et en utilisant l'application, le consommateur achète ses produits en connaissance de

cause, tout en contribuant à l'amélioration du processus de substitution. Il peut ainsi faire jouer son droit de savoir.

Les restrictions imposées aux substances de l'annexe XVII REACH peuvent s'appliquer de manière progressive. Ainsi dans l'exemple de l'inscription du PFOA et de ses sels au titre de l'annexe XVII intervenue le 14 juin 2017, une mise en application progressive a pris en compte différentes échéances :

- Interdiction de production ou mise sur le marché européen en tant que substance à compter du 04/07/2020 ;
- Limite de taux de concentration : interdiction d'utilisation en tant que substance, dans un mélange ou un article à compter du 04/07/2020, en concentration supérieure ou égale à 25 ppb (parts par milliard). Un seuil de 1 000 ppb est applicable aux substances apparentées (substances susceptibles de se décomposer et se transformer en PFOA) ;
- Restriction différée au :
 - 04/07/2022 pour la fabrication des semi-conducteurs et encres d'impression au latex ;
 - 04/07/2023 pour l'utilisation dans les vêtements de protection des travailleurs (risques de santé/sécurité), les membranes de textiles médicaux, la filtration de l'eau ou le traitement des effluents, et les nano revêtements de plasma ;
 - 04/07/2032 pour les dispositifs médicaux.

8 Niveaux de contamination des eaux souterraines et superficielles de quelques bassins

Eaux souterraines, zoom sur quelques bassins versants

- Bassins Rhône-Méditerranée et Corse

La surveillance mise en œuvre par l'Agence de l'eau RMC a été exploitée entre 2018 et 2020 pour les 14 PFAS suivis sur 381 points. Elle montre de faibles concentrations de PFAS dans les eaux souterraines des deux bassins. Lorsque les PFAS sont quantifiés, les concentrations moyennes sont de l'ordre de 0,010 à 0,015 µg/l. Seuls 5 PFAS présentent une fréquence de quantification significative : PFHxA, PFHxS, PFHpA, PFOS et PFHpS.

Le site industriel de Pierre-Bénite sur le Rhône (en aval de Lyon) évoqué au 2.1 n'apparaît pas

Si le niveau de contamination général reste faible, on peut toutefois noter que les PFAS peuvent être quantifiés sur 37% des points de suivi (42% en région AURA). Ces points se trouvent en majorité (66%) dans des aquifères alluviaux et pour 17% en aquifères karstiques. Les nappes concernées par une présence de PFAS sont donc le plus souvent liées aux eaux superficielles ou intrinsèquement vulnérables, ce qui signifierait que les sources de pollution actuelles sont essentiellement les rejets dans les eaux superficielles.

- Bassin Seine Normandie

La surveillance mise en œuvre par l'Agence de l'eau Seine-Normandie de 2017 à 2020 portait sur 11 PFAS. Seuls 4 PFAS présentent une fréquence de quantification significative : PFOS, PFHxA, PFOA et PFHxS avec une fréquence de quantification élevée pour le PFOS (36% en 2020).

Lorsque les PFAS sont quantifiés, les concentrations moyennes sont de l'ordre de 0,010 à 0,015 µg/l.

L'Agence Seine-Normandie a établi sur les mesures de son réseau de surveillance que seulement 7 stations sur 560 surveillées sont en dépassement de la norme européenne de 0,1 µg/l (pour la somme des 20 PFAS⁵⁴ de la Directive EDCH). Ces 7 stations sont réparties sur le bassin, sans logique géographique. L'Agence ne fait pas état de lien avec d'éventuelles sources de PFAS.

La surveillance a détecté des pics élevés de concentrations : jusqu'à 5 µg/l pour le PFOS et jusqu'à 10 µg/l pour le PFOA. Aucun lien avec des pointes de rejets d'industries ou d'autres sources n'a pu être établi.

Eaux de surface, zoom sur quelques bassins versants

- Bassins Rhône-Méditerranée et Corse

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a relevé une contamination des cours d'eau en PFAS non négligeable dans le bassin Rhône Méditerranée :

- près de 90 % des stations du contrôle opérationnel⁵⁵ et plus de 50 % des stations du contrôle de surveillance⁵⁶ sont contaminées (concentrations quantifiées) ;
- plus de 50 % des prélèvements d'eau pour le contrôle opérationnel et plus de 30 % des prélèvements d'eau pour le contrôle de surveillance sont contaminés ;
- des composés perfluorés sont quantifiés dans près de 10 % des analyses d'eau réalisées pour

⁵⁴ Liste des 20 PFAS : annexe III, partie B, point 3 de la Directive EDH du 16 décembre 2020.

⁵⁵ Le contrôle opérationnel assure la surveillance des seuls paramètres à l'origine du risque de non atteinte des objectifs environnementaux assignés aux masses d'eau.

⁵⁶ Le contrôle de surveillance comprend le suivi de la qualité des eaux de surface, le suivi quantitatif et le suivi de l'état chimique des eaux souterraines. La durée des programmes de contrôle de surveillance est liée à un plan de gestion des réseaux de contrôle de surveillance d'une durée de 6 ans.

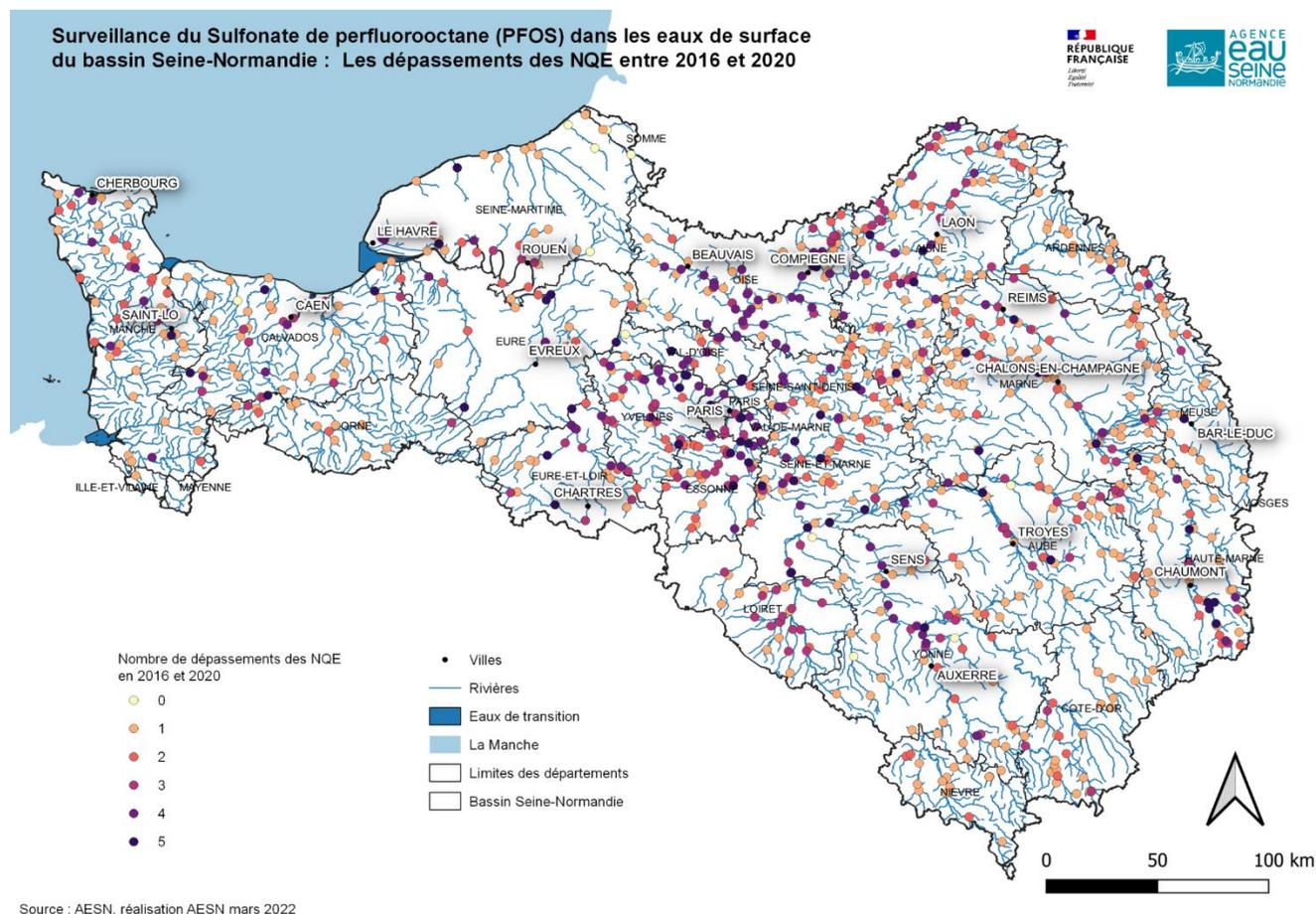
- le contrôle opérationnel et 5 % des analyses d'eau réalisées pour le contrôle de surveillance ;
- près des 2/3 des paramètres analysés (recherchés) sont quantifiés au moins une fois sur le bassin tant pour le contrôle opérationnel que pour le contrôle de surveillance.

Dans un contexte général de niveaux de contamination faibles, l'Agence relève toutefois que 9% des stations du réseau de surveillance présentent des niveaux de contamination élevés. Cette contamination est même très élevée pour toutes les stations du Rhône à l'aval de Lyon (cf. plate-forme de Pierre-Bénite évoquée supra).

- Bassin Seine Normandie

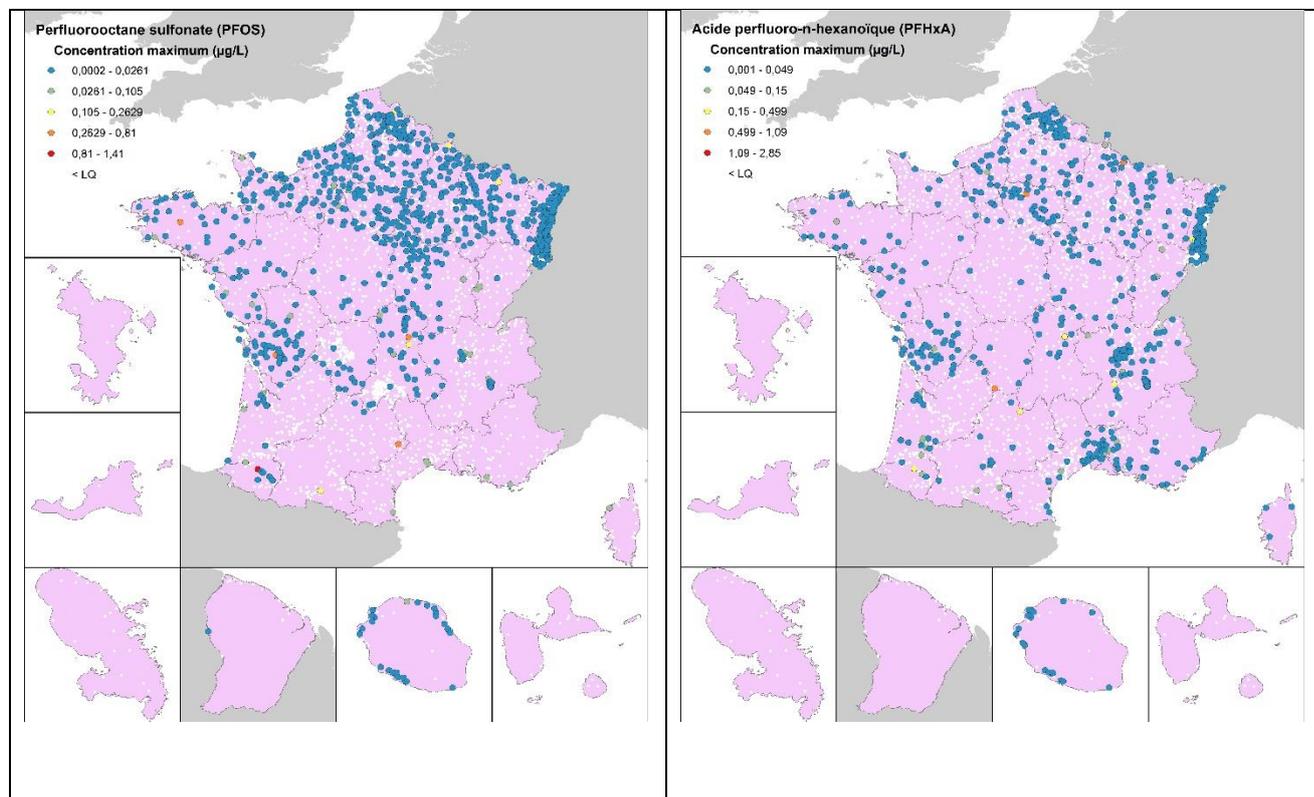
L'exploitation de données faite par l'Agence de l'eau Seine Normandie conduit à retrouver en général les mêmes composés qu'en eaux souterraines ; elle confirme une FQ pour le PFOS de 36%. La carte de la page suivante fournit le nombre de dépassements de la NQE relevés en PFOS entre 2016 et 2020 dans le cadre du réseau de surveillance des eaux superficielles.

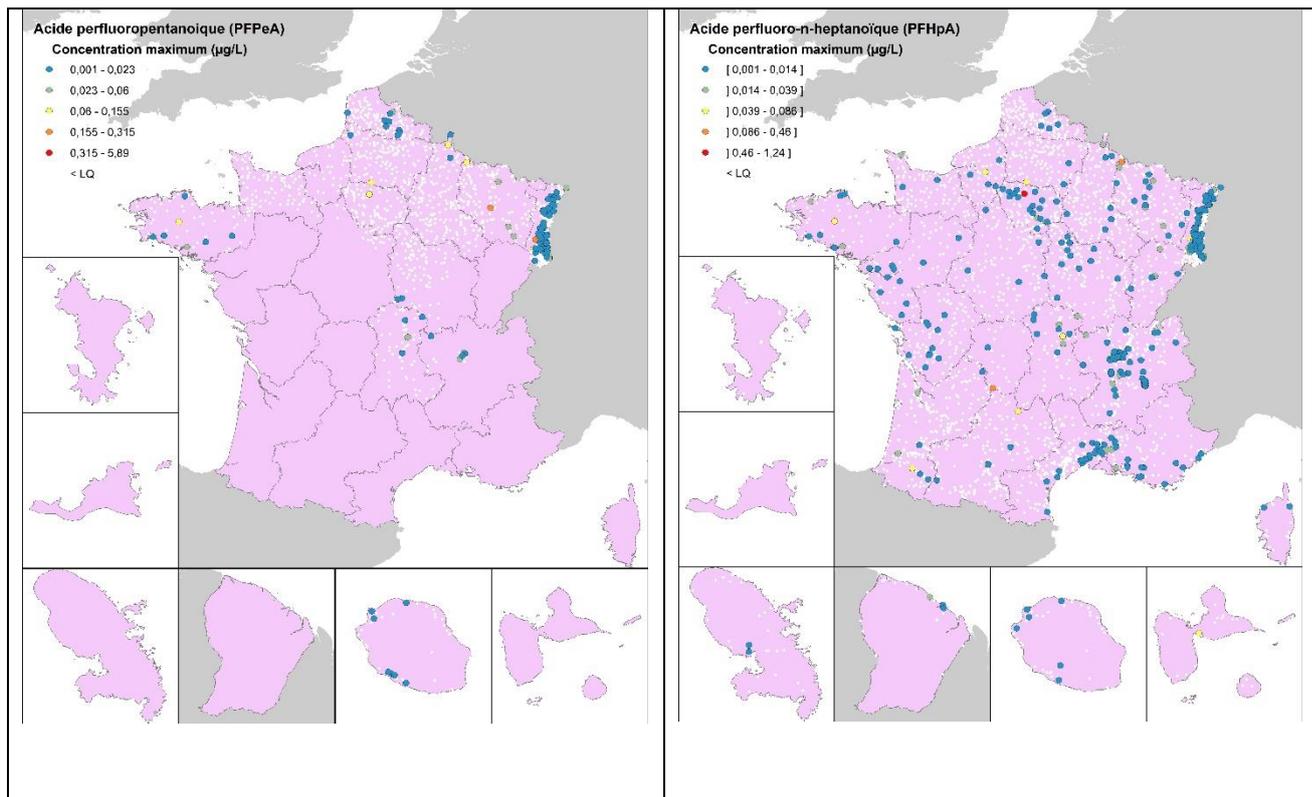
Le bassin dans son intégralité est contaminé : outre la Seine, on note une contamination significative de l'Oise, de l'Orge, de l'Aisne, de la Marne dès son amont et de l'Yonne. Les concentrations restent toutefois modérées pour tous les composés : pour le PFOS, avec en moyenne 3 à 6 ng/l, elles sont néanmoins du même ordre de grandeur que la NQE et peuvent même atteindre des pics de plus de 17 µg/l (la Marsange, sous-affluent de la Seine situé dans le département de Seine et Marne).



Carte 3 : nombre de dépassements de la NQE en PFOS dans le bassin Seine-Normandie (Source : Agence de l'Eau Seine-Normandie)

9 Cartes de concentrations maximales des eaux souterraines françaises en PFOS, PFHxA, PFPeA et PFHpA (sources BRGM)





10 Les outils d'identification des sources de PFAS

10.1 Base de données ActiviPoll

La base de données ActiviPoll répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés d'après le croisement de diverses sources d'information (bases de données françaises et littérature internationale spécialisée).

<https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/base-de-donnees/bd-activipoll#outil-de-recherche-bd-activipoll>

Dans le cadre de ses missions d'appui aux politiques publiques pour le ministère en charge de l'environnement, le BRGM développe une base de données qui répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés. Cette base de données actualisable permet d'identifier des typologies de substances potentiellement liées à des sites industriels dans le cadre des études à mener sur les sites potentiellement pollués.

En 2014 et 2015, des corrélations entre activités industrielles et les polluants potentiellement associés ont été identifiées à partir de l'exploitation statistique des principales bases de données nationales environnementales (CASIAS, l'information de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée (ancienne dénomination : BASOL) et ADES) et des informations recueillies dans le cadre du projet « Établissements Sensibles ».

En 2017, le BRGM a travaillé sur une consolidation de la BD ActiviPoll en enrichissant son contenu par d'autres sources de données : les premiers traitements de 2014 ont été complétés par les informations provenant de diverses sources françaises et internationales :

- Annexe 1 de la circulaire RSDE du 5 janvier 2009 basée sur les résultats de l'action nationale de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux par les installations classées ;
- Tableau de synthèse des Fiches Technico-Economiques (FTE) de l'INERIS ;
- Sources bibliographiques émanant de la littérature française et internationale :
- Royaume-Uni : Guidance for the Safe Development of Housing on Land Affected by Contamination
- Allemagne : Handbuch Altlasten und Grundwasserchadensfälle
- Canada (Québec) : Liste des contaminants potentiels par secteur d'activité industrielle et commerciale susceptibles de contaminer les sols et les eaux souterraines
- Nouvelle-Zélande : Hazardous Activities and Industries List (HAIL) contaminants
- France : Ancienne grille activités-polluants disponible en annexe D du guide « Diagnostic de site » de 2007.

En 2022, une actualisation de la matrice a été réalisée afin de prendre en compte les nouvelles données suivantes :

- Documents de référence MTD (Meilleures Techniques Disponibles) appelés « BREF » (pour Best available techniques REference documents). Des corrélations ont été recherchées dans 29 fiches BREF ;
- Base de données REACH (enRegistrement, Evaluation et Autorisation des produits CHimiques). Cette base de données de l'agence européenne des produits chimiques contient un inventaire des substances chimiques, ainsi que les usages et risques qui leurs sont associés. Dans cette base de données, des extractions des listes des substances liées à des secteurs d'activités (Sector of Use : SU) ou à des produits fabriqués ont été réalisées. Des corrélations des activités avec la nomenclature NAF ont été faites sur la base du guide Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment Chapter R.12: Use description (table 9) ;
- Données de qualité des eaux souterraines issues de la base de données GIDAF (Gestion Informatisée des Données d'Autosurveillance Fréquente). Cet outil, permettant depuis 2015 à un exploitant de déclarer en ligne et transmettre ses résultats d'analyses d'auto-surveillance à l'Inspection des Installations classées et aux Agences de l'eau, contient environ un million d'analyses des eaux

souterraines. Parmi ces analyses, environ 300 000 ont été enregistrées en 2020 et ce nombre continue d'augmenter chaque année ;

- Recherches bibliographiques récentes sur les PFAS et sur les additifs du 1,1,1 TCA.

Le croisement de l'ensemble de ces sources de données a mis en évidence de nouvelles corrélations entre activités et polluants et a conduit à étoffer le système de notation qualifiant chaque couple activité-polluant par un plus grand niveau de détail que précédemment.

10.2 PFAS Screening Tool

L'outil développé par Antéa Group dénommé « PFAS Screening Tool » vise à pré-identifier rapidement les sources potentielles de pollution liées aux PFAS à différentes échelles (région, département, commune, établissement) et les produits contenant des composés perfluorés.

L'outil s'appuie sur le retour d'expérience du réseau scientifique et technique d'Antéa composé d'américains, de néerlandais et de belges, sur une recherche bibliographique et sur les diverses bases de données existantes.

De nombreuses sources sont consultées pour collecter les données nécessaires à une pré-identification du risque potentiel de pollution aux PFAS, données qui sont intégrées dans une base. Leur croisement permet de définir des indicateurs décisionnels qui sont valorisés dans une application web. Celle-ci permet d'obtenir une vision cartographique des sources potentielles de pollution et leur quantification (statistiques, graphiques).

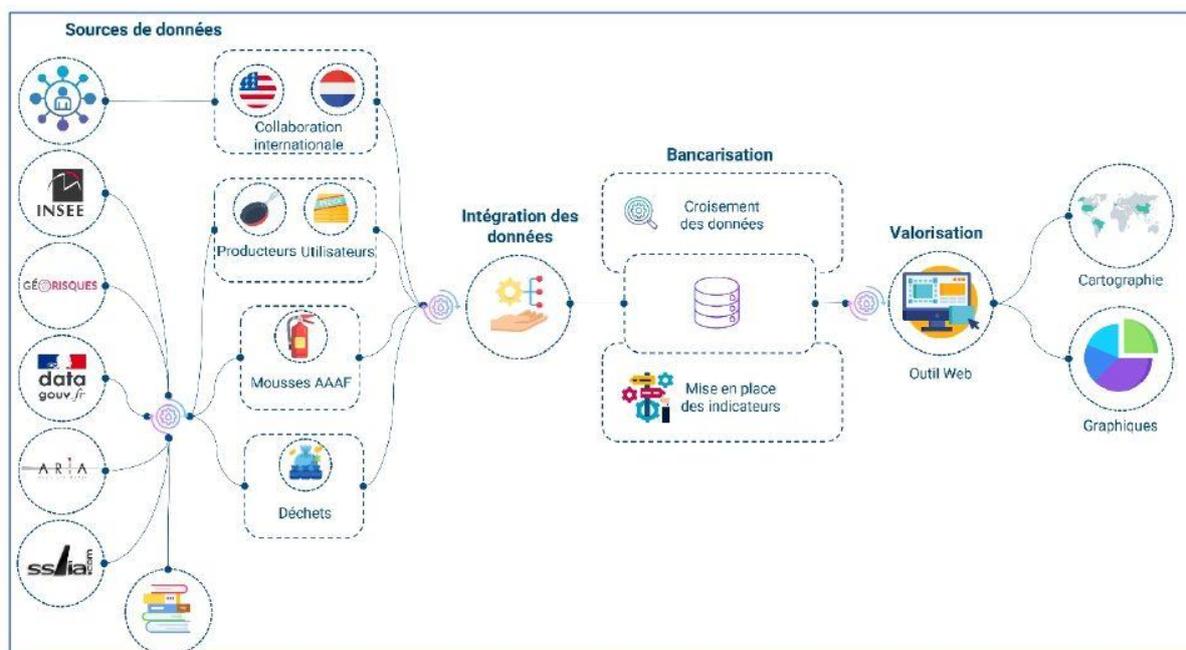


Figure 5 : Schéma de principe du croisement des données de l'outil PFAS Screening Tool (source : Antéa Group)

L'outil prend en compte quatre types de sites, localisés et identifiés par type de PFAS utilisé, à partir de l'application web :

- sites avec une unité de production de PFAS. La plupart des PFAS utilisés en France sont importés et il existe peu de sites de production.
- sites sur lesquels une mousse AFFF a été ou est utilisée (lieux d'incendie de type B et sites d'exercice d'extinction de feux, ...). Ont été intégrés dans la base de l'outil, pour la France métropolitaine :
 - 129 sites aéroportuaires ;
 - 99 sites militaires en France comprenant les bases aériennes, aéronavales et navales ;
 - 71 sites portuaires ;

- 121 sites dédiés à la lutte contre les incendies (casernes de pompiers ou sites d'exercices répertoriés) ;
 - 542 sites SEVESO ;
 - 74 sites d'accidents aériens survenus depuis 2010 (avec utilisation probable de mousses AFFF) ;
 - 157 événements recensés dans la base ARIA⁵⁷ avec incendie de type B (avec utilisation probable de mousses AFFF).
- sites de gestion de déchets, en considérant que des températures très élevées, de l'ordre de 1200 à 1400 °C, sont nécessaires pour l'élimination totale des PFAS : l'incinération à des valeurs inférieures (cas général des incinérateurs) peut résulter en un rejet atmosphérique des PFAS ;
- sites avec des établissements qui utilisent potentiellement des PFAS dans leurs procédés. Une matrice a été établie à partir des retours d'expérience d'Antéa Group Etats-Unis et Antéa Group Pays-Bas ainsi que des recherches bibliographiques avec, pour l'ensemble des secteurs industriels et activités industrielles (code APE), les renseignements suivants :
- le type de produit contenant des PFAS (ex. : agent anti-mousse, peinture, etc.) ;
 - la fonction des PFAS dans le produit (ex. : agent anti mousse dans le procédé de teinture utilisant des colorants au soufre, propriétés anti-fouling pour les peintures des navires...) ;
 - les propriétés des PFAS (ex. : faible tension de surface, oléophobe, rigidité diélectrique élevée, etc.) ;
 - la forme des sources des PFAS potentiellement émis : liquide, solide, fumée ;
 - les substances (n°CAS) concernées (ceci sera intégré avant la fin de l'année 2022).

Le couplage avec la base SIRENE (Système national d'Identification et du Répertoire des Entreprises et de leurs Etablissements) permet d'extraire les établissements dont le code APE figure dans la matrice.

L'outil permet d'exploiter la base de données concernant les sources potentielles de PFAS de nombreuses manières :

- extraction et cartographie selon emplacement (par exemple une commune, un département, une région ou le territoire national) ;
- extraction et cartographie selon l'un ou plusieurs des 4 types de source (§ II) ;
- extraction et cartographie selon un secteur industriel ou un code activité ;

...

L'outil permet d'établir rapidement un état des lieux des sources potentielles de PFAS sur un territoire donné et d'accéder aux détails des produits concernés.

Antéa a par ailleurs établi un premier inventaire des sites ayant connu des feux d'hydrocarbures qui comprend :

- 99 bases militaires reliées à des flottes aériennes ou navales ;
- 129 aéroports métropolitains ;
- 71 sites portuaires ;
- 102 sites dédiés à la lutte contre les incendies : casernes de sapeurs-pompiers des SDIS, mais sans les autres casernes et exercices anti-incendies qui peuvent être organisés en dehors des SDIS (locaux de gendarmerie, ou friches industrielles louées à cette fin) ;
- 19 sites de sous-traitance des exercices incendies d'autres entreprises (2 entreprises principales réalisant des exercices incendies pour des industriels) ;
- 542 sites Seveso seuil haut ;
- 74 lieux d'incendie de type B lors d'accidents aériens (références BEA, bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile) ;
- 157 événements référencés par le BARPI ayant probablement eu recours aux mousses AFFF.

⁵⁷ Base Analyse, Recherche et Information sur les Accidents du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels

11 Observations émises lors de l'échange « contradictoire » et suites données dans le rapport de la mission

Observations de la DGPR		
Référence de page	Nature de l'observation	Suites données par la mission
Recommandation 3, pages 8 et 24 :	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les normes de rejets dans l'eau et l'air des ICPE déchets, l'idée de réglementer par des normes européennes est intéressante car une réglementation française serait assez lourde (du point de vue ICPE, s'il faut réglementer les rejets aqueux et atmosphériques des IC de traitement de déchets contenant des PFAS, cela peut être fait via un seul AM. • Pour les normes de contamination des produits et déchets en PFAS: il existe déjà des seuils pour certaines familles de PFAS à travers le règlement POP, que ce soit sur les produits fabriqués et mis sur le marché ou sur les déchets. Un REX sur ces familles déjà réglementées (par exemple pour mieux comprendre les implications en terme de gestion de déchets, ou l'application qui en est faite dans d'autres Etats-Membres) pourrait être intéressant avant d'embrasser l'ensemble des PFAS. • La seule porte d'entrée pour les rejets industriels est la directive IED sur les émissions industrielles, elle ne fixe pas de normes. Les PFAS pourront en revanche être pris en compte dans le cadre des révisions à venir des Bref en fonction des secteurs d'activité concerné. 	<p>La mission écrit « d'œuvrer pour » ce qui fait allusion aux orientations à soutenir par la France vis-à-vis de la Commission. Par ailleurs, la transposition française peut ne pas se limiter à la directive IED.</p> <p>➔ Sans changement.</p>
Recommandation 4, pages 8 et 33 :	<ul style="list-style-type: none"> • Cette recommandation semble pertinente au vu de la contamination des sols en PFAS due aux mousses anti-incendies. Il faudra toutefois réfléchir à la meilleure façon de traiter ces terres polluées au PFAS suite à l'utilisation des mousses anti-incendie. Excaver ces terres leur donnera un statut de déchet et elles devront être éliminées conformément aux annexes IV et V du règlement POP (si l'on parle de PFOA, PFOS ou PFHxS). • Dans la démarche d'analyse des risques sites et sols pollués, quelle démarche est visée ici ? Ce point n'est pas évoqué dans le rapport mais uniquement au niveau de la recommandation. <p>Les démarches d'analyse des risques en sites et sols pollués ne permettent pas de mener des analyses dans l'absolu : elles s'appuient sur des hypothèses spécifiques en lien avec</p>	<p>➔ La mission a modifié sa formulation pour plus de clarté.</p>

		un usage donné. Elles ne sont pas adaptées à un exercice d'analyse sur un ensemble de sites issus d'un inventaire.	
Recommandation 5, pages 8 et 33	5,	<ul style="list-style-type: none"> • La portée de cette recommandation n'est pas précisée. Il faudrait en particulier préciser si sont visées les ICPE en cessation et/ou les ICPE en activité. Il faudrait également expliquer comment cette recommandation s'articule avec les sections 2.2.2.1 et 2.2.2.2 du rapport. Pour les ICPE en cessation, les diagnostics exigés en préalable à la réhabilitation iront chercher systématiquement les PFAS lorsque cela sera pertinent grâce à la mise à jour de la base ActiviPoll sur les PFAS. Pour les ICPE en activité, une telle recommandation se heurte à deux contraintes majeures : les moyens humains à disposition de l'inspection ; et les leviers réglementaires sur lequel s'appuyer pour demander la recherche de ces substances. • Selon l'INERIS, « les méthodes intégratrices (qui désignent à mon sens les méthodes génériques) ne sont pas encore suffisamment robustes pour se substituer à l'analyse des composés individuels [...] une analyse au cas par cas des PFAS mis en œuvre au niveau du site [...] semble être la seule méthode pertinente pour déterminer les molécules en présence et donc celles à rechercher dans les émissions » (avis formulé dans une note, non approuvée à ce jour) La seule utilisation de méthodes génériques, dans un premier temps, semble ainsi limitée pour identifier fidèlement les sites présentant un risque de contamination. 	<p>Dans le cadre d'un screening à focalisation progressive, ce sont dans un premier temps tous les sites qui sont concernés.</p> <p>Les moyens limités de l'inspection ne sont pas un argument, d'autant qu'elle n'est pas seule à pouvoir intervenir.</p> <p>➔ Sans changement</p> <p>C'est bien le sens de ce qu'écrit la mission en termes d'approche progressive.</p> <p>➔ Sans changement</p>
Recommandation 6, page 34	6,	Indépendamment des problèmes de faisabilité technique et de coûts précédemment évoqués, peut se poser une question de la confidentialité et de l'appartenance de la donnée. Si un tel outil voyait le jour, il ne devrait pas se limiter aux PFAS.	<p>Oui à une problématique non limitée aux PFAS, mis la mission ne porte que sur ce sujet.</p> <p>➔ Sans changement</p>
Recommandation 8, pages 8 et 37	8,	<p>Les installations ICPE déchet (incinérateurs, décharges, centres de tris) semblent faire partie des installations les plus émettrices d'après le rapport. Pour les incinérateurs et décharges, il pourrait être pertinent comme proposé dans la recommandation 3 de traiter le sujet des prescriptions d'émission au niveau européen (via la directive IED en cours de révision, la directive décharge ou les BREFs), dans la mesure où cela faciliterait ensuite la déclinaison au niveau français et/ou éviterait que les mesures définies au niveau français soient remises en cause ensuite par les prescriptions UE.</p> <p>Si le point est géré directement au niveau FR, la gestion des émissions dans des arrêtés ministériels passera par la modification des AMPG concernés (réponse à la</p>	

	recommandation 3 précédente). Toutefois, cela devra être également décliné au niveau des DREAL par l'IIC car il y a nécessité pour les DREAL de prendre un APC par site (travail d'identification des sites qui devront faire l'objet de cette campagne), qui sera suivi d'un gros travail d'identification des mesures de maîtrise du risque et de recoupement avec la recommandation n° 3 (fixer des VLE)	
Recommandation 9, pages 9 et 42	La substitution doit-elle être recherchée pour l'ensemble des PFAS ce qui serait considérable ? Il pourrait être intéressant de préciser la base européenne réglementaire permettant cette substitution.	La réduction à la source et la recherche de produits de substitution sont des principes majeurs de la réglementation française ICPE, à mettre en œuvre dans le cas des PFAS dans leur ensemble. ➔ Sans changement.
Recommandation 10, pages 9 et 45	Cette recommandation peut être considérée comme déjà en cours de mise en œuvre pour les PFAS POP puisque le règlement POP fixe déjà le cadre applicable. Pour les autres PFAS, vu le degré d'utilisation des PFAS dans un tas de procédés industriels, il faudrait peut-être se limiter à une liste de produits bien identifiée où on sait que les taux de PFAS sont importants (tout en ayant en tête la difficulté qui est de fixer ce taux en fonction du risque acceptable). Du point de vue du recyclage des déchets, cette recommandation, même si dépendante du seuil retenu, semble compliquée à mettre en œuvre et pourrait sortir du recyclage une quantité non négligeable de déchets. => Il serait donc souhaitable de restreindre au moins dans un premier temps cette interdiction de recyclage à certains produits ayant des teneurs hautes en PFAs, (voire choisir dans un premier temps certains PFAS). Ce ciblage paraît d'autant plus nécessaire que la voie privilégiée (notamment par le règlement POP) est l'incinération. Les installations d'incinérations étaient déjà relativement saturées en France, il pourrait y avoir un risque de manque d'exutoire si des POP ou PFAS qui sont aujourd'hui non identifiés dans des déchets et donc sont valorisés/enfouis doivent tous être incinérés (qui plus est dans des conditions spécifiques). Certaines catégories de déchets (sédiments et terres par exemple) pourraient en outre représenter de gros tonnages. De manière générale, comme explicité en détails dans le paragraphe ci-dessous sur le	L'idée de prioriser l'action en commençant par une liste de produits bien identifiée où on sait que les taux de PFAS sont importants n'est pas antinomique avec la recommandation formulée par la mission, à condition que cette liste soit suffisant large et qu'elle soit rapidement étendue. La fixation de contraintes réglementaires fortes dans le recyclage et l'élimination des déchets doit bien, malgré son coût, constituer l'une des composantes d'une politique de restriction rapide de l'usage de la classe des PFAS dans son ensemble. La problématique ne se réduit pas, loin s'en faut, aux PFAS POP.

	<p>contenu du rapport, le rapport n'évoque pas les annexes déchets du règlement POP dont l'objectif est justement de limiter la présence des POP (et donc de certains PFAS) dans les déchets. Cette recommandation n°10 reprend pour partie les objectifs du règlement POP et de ses annexes déchets (annexes IV et V), déjà existants pour certains PFAS.</p> <p>Pour rappel, ces annexes décrivent les opérations d'élimination et de valorisation à mettre en œuvre pour les déchets qui sont constitués de POP, qui en contiennent ou qui sont contaminés par des POP. Ces déchets doivent être éliminés ou valorisés de manière à ce que les POP qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés et que les déchets ou rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. En général, cela consiste en une élimination par incinération (ou de manière marginale, un traitement physico-chimique)</p> <p>Il est à noter qu'il faut une dérogation, au sein du règlement POP, pour que les déchets contaminés aux POP soient enfouis en ISDD et non détruits.</p> <p>Le rapport ne mentionne pas l'existence de guidelines, non obligatoires, définies au niveau international au sein des triples conventions de Stockholm/Bale/Rotterdam qui définissent les meilleures manières de gérer ces déchets :</p> <ul style="list-style-type: none"> - "General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants" - certaines guidelines ne concernent que certaines familles de PFAS "Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF) and perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds <p>Pour ce qui est des températures d'incinération, il est à noter que le règlement POP ne prévoit rien : il prévoit seulement l'incinération ou la valorisation énergétique mais ne précise pas les températures minimales, bien que les guidelines précisent bien qu'une température élevée est effectivement bien plus efficace.</p> <p>Il ne paraît pas opportun de recommander la réalisation de sarcophages. Il vaut mieux orienter vers des installations de stockage dûment autorisées, bien plus à même de maîtriser les rejets aqueux et atmosphériques.</p>	<p>La mission conclut bien à l'existence de lacunes importantes de la connaissance dans ce domaine, qui se traduisent par l'absence de réglementation que nous avons relevée aussi.</p> <p>La proposition de sarcophages vise précisément à éviter les rejets aqueux.</p>
--	--	---

		Qu'il s'agisse de centres d'enfouissement ou d'installations de stockage, ils devront bien sûr être dûment autorisés et contrôlés avec une vigilance renforcée. ➔ Sans changement.
Recommandation 11, pages 9 et 46	D'autres directions ne sont-elles pas concernées par cette feuille de route, je pense notamment à la DGE au vu des impacts notamment financiers sur l'industrie ?	C'est possible, mais le rapport de la mission est destinés principalement aux DG du MTE, charges à eux de transmettre à la DGS, également fortement concernée, et aux DG d'autres ministères qu'ils jugeraient pertinents. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.1.1, page 11	Les PFCA en C9-C14 sont réglementés à l'entrée 68 de l'annexe XVII de REACH.	Dont acte. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.1.2, page 11	Il doit également y avoir de la connaissance sur les PFCA C9-C14 puisqu'il y a une restriction.	Informations non identifiées par la mission. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.1, page 20	La dernière phrase du paragraphe 1.3.4.1, telle que rédigée, semble dire qu'aucune évaluation environnementale n'aurait traitée les PFAS, en a-t-on la certitude ?	Parmi les nombreuses études d'impact d'ICPE, de ZAC et d'autres projets d'aménagement examinées, les missionnés n'ont jamais vu le mot PFAS. Mais comme nous n'avons pas tout vu, nous avons indiqué « ne font qu'exceptionnellement état ». ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.2, 2 ^{ème} alinéa, page 21	Il y a en effet de fortes possibilités que peu d'études d'impact traitent du cas des PFAS, mais il faudrait aller regarder celles des sites concernés pour affirmer que ce n'est absolument pas le cas aujourd'hui. Par exemple une étude d'impact de Chemours réalisée il y a plus d'une dizaine d'année, si elle ne mentionne pas les PFAS parle des composés fluorés.	Cette observation ne remet pas en cause ce qu'a écrit la mission sur le caractère exceptionnel d'une prise en compte du risque PFAS. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.2, 4 ^{ème} alinéa, page 21	Il est proposé de supprimer la phrase « <i>En outre, la base de données GEREPA n'est pas ouverte en accès libre au grand public</i> », qui pourrait être perçue comme une demande de	Outre que le motif invoqué pour ne pas mettre à disposition ces données ne

	mise à disposition au public de cette base, or ce n'est pas la vocation de la base qui n'est que déclarative. Les rejets qui y sont déclarés sont ensuite versés sur Georiques lorsqu'ils dépassent les seuils réglementaires.	paraît pas recevable, la mission se borne à un constat factuel. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.2, 5ème alinéa, page 21	Il est tout à fait normal qu'aucun rejet en PFAS ne soit recensé dans la base, la liste des polluants concernés est imposée par le règlement européen E-PRTR qui ne comprend pas de PFAS.	La mission se borne à un constat factuel. L'information fournie par la DGPR oriente vers une modification du règlement européen E-PRTR. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.2, dernier alinéa, page 22	N'ont été repris dans cet arrêté du 17 décembre 2019 que les obligations européennes du Bref WT et ce dernier n'a pas demandé un suivi dans l'air pour les PFAS.	La mission se borne à un constat factuel. L'information fournie par la DGPR oriente vers une modification réglementaire européenne. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.3, dernier alinéa, dernière phrase, page 22	La déclaration dans GEREPE est annuelle et l'outil ne permet pas une telle transmission. Si cette transmission était imposée, elle ne devrait pas l'être via GEREPE qui ne le permet pas, mais pourrait l'être en demandant à l'exploitant de le faire. Il n'y aurait d'ailleurs pas de raison que seules les données liées au PFAS soient transmises. Bien d'autres micropolluants sont présents dans les STEU.	L'outil GEREPE pourrait être amélioré pour permettre une telle transmission complète adressée au maire pour l'ensemble des micropolluants, y compris PFAS (plutôt que par chaque industriel). ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.4, dernière phrase du 6ème alinéa, page 23	La DEB a-t-elle été interrogée sur ces motifs ?	La DEB est en cours de correction de ce point. ➔ Sans changement.
Paragraphe 1.3.4.4, 8ème alinéa, page 23	La référence « avis de la CE du 20 août 2021 » pourrait être précisée	➔ Référence complétée dans le texte
Paragraphe 2.1.3, proposition n°1, page 27	Le rapprochement de bases ayant des objets différents semble très difficile à atteindre et s'il était possible techniquement générerait des coûts importants.	La mission considère que la mise en place des passerelles n'est pas si coûteuse. Elle a bien été faite il y a quelques années sur les bases de données sur l'eau. ➔ Sans changement.
Paragraphe 2.2, 2ème alinéa	Proposition d'inverser l'ordre de citation des références Activipoll, précisées, et Antéa.	➔ Proposition acceptée dans le texte
Paragraphe 2.2.1.1, Sites potentiellement émetteurs, page 33	Pour les incendies, la base ARIA pourrait peut-être apporter des données. https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/	➔ Référence complétée dans le texte

Paragraphe 2.2.1.1, Organisation des recherches, page 34	Les démarches d'analyse des risques en sites et sols pollués ne permettent pas : de confirmer la présence de PFAS, d'identifier les substances concernées, de préciser les zones à l'origine des pollutions. Tout cela relève d'outils de diagnostics, pour lesquels il est tout à fait possible de s'inspirer de ce qui se fait en matière de sites et sols pollués (par exemple décrits dans la partie 2 de la série de normes NF X31-620 de décembre 2021).	La mission ne faisait pas référence à une analyse de risque « sites et sols pollués » mais à une analyse de risque de présence. → Précision apportée au texte
Paragraphe 2.2.1.2, dernier alinéa	Il ne faut pas oublier le coût qui peut être très important pour réaliser de telles mesures, aussi la généralisation ne peut être un objectif, il faudrait plutôt axer les mesures sur les seuls secteurs concernés.	Il ne s'agit que d'anticiper une obligation qui devrait s'imposer aux acteurs économiques. → Sans changement.
Paragraphe 2.2.2.2, page 35	<ul style="list-style-type: none"> • La démarche proposée reprend les grandes lignes de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (avril 2017). Il est préférable de s'appuyer sur l'existant (par ailleurs déjà largement partagé et appliqué par les différents acteurs) plutôt que de proposer une autre approche. • En matière de cessation d'activité, il n'est pas nécessaire d'effectuer une priorisation préalable. Dès lors que la base ActiviPoll aura en évidence une corrélation possible entre les activités d'une ICPE à l'arrêt et la présence de PFAS, ces composés seront systématiquement recherchés. 	Puisque la proposition méthodologique de la mission s'écarte peu de la méthodologie SSP, il n'y a donc pas de risque de divergence. Ceci ne vaut que pour les cessations d'activités à venir et ne répond pas aux cessations passées : d'où la recommandation de mobiliser les études historiques. → Sans changement.
Paragraphe 2.2.2.2 Identification des sources ponctuelles issues d'activités en fonctionnement, page 36	L'obligation affichée de bancariser les données obligerait à développer et mettre en place un outil dédié, qui serait une première. Si un tel travail était mené il devrait également porter sur les autres substances et notamment les CMR. C'est donc une tâche administrative considérable dont la finalité et l'utilité devront être démontrées.	Sans bancarisation, les données sont quasiment inutilisables. Le développement des outils modernes rend cette obligation à portée et donc indispensable. → Sans changement.
Paragraphe 2.2.2.2 Cibler la connaissance et l'action sur les principaux « sites émetteurs », page 37	L'absence de méthodes éprouvées risque de poser des difficultés importantes pour cette caractérisation.	Ceci doit être un aiguillon pour faire avancer les mises au point méthodologiques. De plus, L'absence de méthode éprouvée n'interdit pas d'appliquer des méthodes d'estimation (par exemple : détermination du flux entrant de PFAS dans un incinérateur). → Sans changement.

Paragraphe 3.4, première phrase, page 42	Il manque des données permettant de mener les calculs de risques sanitaires jusqu'au bout : données physico-chimiques sur le comportement de ces composés ; et données toxicologiques.	Même si les connaissances ne sont pas complètes, les références produites par la communauté scientifique permettent de mettre en œuvre une démarche développée dans la politique des sites et sols pollués. → Sans changement.
Annexe 1, paragraphe 1.3 sur la bancarisation dans GERE, page 50	La base déclarative GERE permet le rapportage annuel des obligations françaises découlant du règlement-E-PRTR, Il n'est pas adapté au suivi de polluants pour lesquels des quantités annuelles émises ne sont pas fixées.	Aucun PFAS n'est actuellement intégré dans la base GERE et il devient urgent qu'elle soit complétée par ces données. → Sans changement
Annexe 1, paragraphe 1.3 sur les sites de grands incendies, page 50	Le statut de site potentiellement pollué (au sens où il est inscrit dans la CASIAS) n'implique pas de dérouler systématiquement une démarche d'évaluation des risques. Ce statut garantit la conservation de la mémoire du site pour anticiper la réaffectation des terrains à un usage qui ne serait pas compatible.	Pour la mission, c'est bien là une lacune à combler : ces sites doivent faire l'objet de démarches d'évaluation des risques. → Sans changement
Annexe 1, paragraphe 1.3 Améliorer la connaissance des sols, page 51	Lors des cessations d'activité, seules les ICPE dont une activité peut être corrélée à la présence de PFAS (sur la base de ActiPoll) feront l'objet de diagnostics incluant ces composés. La gestion des sites selon les usages et la conservation de la mémoire de pollutions résiduelles permettent de gérer les cas de réutilisation des sites pollués et des grands aménagements urbains, mais uniquement si la présence de PFAS est corrélée aux anciennes activités.	Il conviendra d'examiner les données mobilisables dans la « conservation de la mémoire de pollutions » pour laquelle la mission a recueilli des témoignages discordants. La nécessaire analyse de risque de présence de PFAS lors de la réutilisation des sites et sols pollués doit mobiliser les études historiques évoquées par la DGPR, ainsi que d'autres sources d'information et analyses en tant que de besoin. → Sans changement.
Annexe 1, paragraphe 1.3 Améliorer la connaissance des sols, page 51	La communication de certaines de ces données pourrait se heurter à des obligations de confidentialité.	Les rapports d'études demandées par la réglementation sont publics et donc communicables. De plus, les études sur la qualité du milieu doivent être diffusées le plus largement depuis la directive sur l'air de 1996. → Sans changement.

Annexe 10, page 72 Outils d'identification des sources de PFAS (PFAS screening tools)	Il est regrettable de faire un focus sur un outil développé par des opérateurs privés et dont l'accès est payant, sans faire en parallèle la promotion de la base ActiviPoll développée par des opérateurs publics et d'accès gratuit !	La mission a utilisé les références bibliographiques auxquelles elle a pu avoir accès (visiblement Antéa Group fait bien connaître ses productions), ce qui n'était pas le cas d'Activipoll. C'est bien volontiers qu'elle ajoutera les informations communiquées lors de ce contradictoire. → Modification du texte pour ajouter un paragraphe descriptif de l'outil Activipoll.
Observations de la DEB		
Référence de page	Nature de l'observation	Suites données par la mission
Tableau 5 en page 32	Une seule remarque : dans le tableau 5, remplacer "STEU soumises à autorisation ou déclaration recevant des PFAS (RSDE)" par "STEU recevant les eaux de sites industriels producteurs ou utilisateurs de PFAS"	La mission propose d'inventorier toutes les STEU recevant des PFAS, quelles que soient leurs origines. Cela concerne effectivement les STEU recevant les eaux de sites industriels producteurs ou utilisateurs de PFAS, mais il peut y avoir des origines non industrielles. → Sans changement.

12 Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
ADEME	agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADES	base d' « accès aux données sur les eaux souterraines »
AEP	adduction d'eau potable
AESN	agence de l'eau Seine Normandie
AERMC	agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
AFFF	mousses anti-incendie "aqueous film forming foam"
ANSES	agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOF	dosage du fluor organique adsorbable
AQUAREF	laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques
ARS	agence régionale de santé
AURA	région Auvergne Rhône Alpes
BARPI	bureau d'analyse des risques et pollutions industriels
BASIAS	base de données des anciens sites industriels et activités de services
BASOL	base de données sur les sites et sols pollués
BRGM	bureau de recherches géologiques et minières
CIC	chromatographie ionique de combustion
CMA	concentration maximale admissible
CMR	cancérogène, mutagène ou reprotoxique
CNRS	centre national de la recherche scientifique
DBO	demande biologique en oxygène
DCE	directive cadre européenne sur l'eau
DCO	demande chimique en oxygène
DEB	direction de l'eau et de la biodiversité
DGPR	direction générale de la prévention des risques
DGRI	direction générale de la recherche et de l'innovation
DGS	direction générale de la santé
DHUP	direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages
EAT	étude de l'alimentation totale
ECHA	agence européenne des produits chimiques
EDCH	directive eaux destinées à la consommation humaine
EFSA	autorité européenne de sécurité des aliments
EOF	dosage du fluor organique extractible
EPCI	établissement public de coopération intercommunale

Acronyme	Signification
EPA	environmental protection agency
EPRTTR	european pollutant release and transfer register
FD	fréquence de détection
FQ	fréquence de quantification
FT	fluorotélomères
GEREP	base de données de « gestion électronique du registre des émissions polluantes »
GIDAF	base de données « gestion informatisée des données d'autosurveillance fréquente »
HPLC	haute pression liquide chromatographie
IARC	international agency for research on cancer
ICPE	installations classées pour la protection de l'environnement
IED	Directive sur les émissions industrielles
INERIS	institut national de l'environnement industriel et des risques
IOTA	installations, ouvrages, travaux et activités
LD	limite de détection
LQ	limite de quantification
MBAS	dosage des substances actives au bleu de méthylène
MES	matières en suspension
NAIADES	base de données sur la qualité des eaux de surface
NQE	norme de qualité environnementale
OCDE	organisation de coopération et de développement économiques
OFB	office français de la biodiversité
ONG	organisation non gouvernementale
PFAS	substances poly ou perfluoroalkylés
POP	règlement « polluants organiques persistants »
QSPR	modèles « quantitative structure-property relationship »
QSAR	modèles « quantitative structure activity relationship »
REACH	règlement européen "registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals"
RSDE	programme sur les rejets de substances dangereuses dans les eaux
SDIS	service départemental d'incendie et de secours
SIRENE	système national d'identification et du répertoire des entreprises et de leurs établissements
SISE-Eau	système d'information des services santé-environnement eau
STEU	stations de traitement des eaux usées urbaines
SVHC	substance of very high concern
TOPA	total oxidizable precursor assay
UPLC	ultra haute pression liquide chromatographie



Site internet de l'IGEDD :
« Les rapports de l'inspection »