

# Synthèse du rapport de l'OiEAU concernant l'étude bibliographique sur les PFAS dans le secteur de l'assainissement

Le rapport de l'OiEAU reprend **7 thématiques** qui sont présentées de manière synthétique ci-dessous :

- Contexte
- Exigences réglementaires, normes et recommandations
- Sources d'émissions
- Comportement des PFAS dans l'environnement et dans les stations d'épuration
- Analyse et suivi des PFAS dans les matrices aqueuses et solides
- Mise en œuvre de campagnes de suivi des PFAS dans les eaux usées et les boues des stations d'épuration
- Possibilités de traitement

## **1. Contexte**

Les PFAS sont un large groupe de substances très diversifiées qui se trouvent dans de très nombreuses applications. Leurs propriétés chimiques en font aussi des substances très stables, persistantes, très mobiles et bioaccumulables. Actuellement, les PFAS les plus étudiés sont ceux issus des familles perfluoroalkylés acides sulfoniques (PFSA) et perfluoroalkylés acides carboxyliques (PFCA) avec une chaîne carbonée composée de 4 à 14 atomes de carbone.

Les PFAS sont connus pour avoir des effets nocifs sur la santé. La principale source d'exposition humaine aux PFAS est l'alimentation.

Les PFAS ont une **origine exclusivement anthropique**, ils se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. La contamination des eaux et des sols par les PFAS est quasiment généralisée avec des taux très variables selon les caractéristiques de la zone et les secteurs d'activités en présence.

Les **stations d'épuration** sont connues pour **être une des principales voies de transfert** du fait qu'elles récoltent les eaux usées issues des diverses activités anthropiques. Les premières campagnes de suivi réalisées en Flandre et en Wallonie confirment la présence d'une dizaine de PFAS dans les boues et les eaux en sortie de station d'épuration à des concentrations variables. Par conséquent, Il est pertinent de mettre en place une stratégie de surveillance afin d'avoir une vision plus précise des concentrations en PFAS dans les eaux et les boues et éventuellement mettre en place des mesures de prévention et de limitation du risque lié aux PFAS, spécifiques à l'assainissement.

## **2. Exigences réglementaires, normes et recommandations**

Les conventions internationales sur les polluants organiques persistants, le commerce des produits chimiques ou sur les boues sont relativement anciennes et prennent peu en compte les PFAS. Les réglementations portent principalement sur les PFAS en C8 (PFOS et PFOA) et sont en cours d'extension aux PFCA et PFSA en C4-C7 et C9-C14, ainsi que leurs principaux produits de substitution (PFOSA, GenX, C6O4, ADONA, FTS...). Les règlements adoptés peuvent porter sur les points suivants :

- **Interdiction ou restrictions des usages des principaux PFAS** avec pour objectif une interdiction universelle à moyen terme. Dans l'Union Européenne, plusieurs directives et règlements entreront en vigueur en 2026 afin de limiter très fortement l'usage des PFAS ;
- **Mise en place de politiques publiques de surveillance des PFAS** dans les différents compartiments de l'environnement afin d'inventorier le niveau de contamination et identifier les polluants émergents ;

- **Définition de normes (provisoires) sur des concentrations de PFAS à ne pas dépasser** dans l'alimentation, l'eau potable, les milieux aquatiques, les sols, les produits fertilisants dont les boues. Les normes les plus anciennes portent généralement sur des **concentrations maximales en PFOS et en PFOA**. Les normes plus récentes visent une **liste élargie de 6 à 47 substances** prises individuellement ainsi que **des sommes d'une vingtaine de PFAS parfois pondérées selon des facteurs de risque**. Par exemple, la future NQE révisée, pour les eaux superficielles continentales, utilisera *à priori* une somme de la concentration de 24 PFAS pondérée selon le "Relative Potency Factor - RPF" donnant un équivalent PFOA pour chaque substance. Ces indicateurs présentent l'avantage de prendre en compte les effets cocktail et d'être plus facile à comprendre pour les décideurs compte tenu du grand nombre de substances concernées ;
- La réalisation d'une **analyse des risques** pour les PFAS sur la base d'une approche HACCP ;
- L'Allemagne, la France, les pays nordiques et certains états anglo-saxons (Hawaï, Michigan et Queensland) ont également adopté des règles afin de définir des **seuils d'alerte au-delà desquels des mesures doivent être engagées**, telles que : la recherche des sources de contamination, la réalisation de campagnes complémentaires de suivi sur les sites au-delà des seuils, la restriction/interdiction de l'usage des produits contenant certains PFAS (notamment la valorisation agricole des boues), l'information du consommateur de produit fertilisant d'une teneur élevée en PFAS, le lancement d'une alerte par les autorités sanitaires, etc. ;
- **Information du public** sur le risque PFAS et les résultats des campagnes de surveillance.

Actuellement, **les limites de rejets de PFAS dans les EAUX USEES** sont le plus souvent définies via **les permis de rejets** ou les règles nationales sur les rejets d'effluents industriels (par exemple la France limite les rejets de PFOS à 25 µg/L dans les rejets des ICPE). Ces valeurs sont généralement définies afin d'éviter les dépassements des valeurs seuils définies dans les eaux superficielles continentales, les eaux souterraines et l'eau potable. En Europe, l'entrée en vigueur des révisions des directives **EDCH** (pour l'eau potable, seuils de 0,50 µg/l pour le total des PFAS et de 0,10 µg/l pour la somme des 20 PFAS) et la **DCE-NQE** (valeur moyenne de 4,4 ng/L d'équivalent PFOA pour la somme de 24 PFAS dans les eaux superficielles) vont certainement imposer aux états membres la (re)définition de limites de rejet plus strictes sur les substances concernées.

Actuellement, **peu de pays ont défini des normes/valeurs guides sur les PFAS dans les BOUES** ou les "biosolides". Néanmoins, la situation est en train d'évoluer rapidement car les premières campagnes d'évaluation des risques commencent à fournir leurs résultats. Ainsi, la liste des substances prises en compte s'allonge progressivement et les valeurs cibles applicables sont revues à la baisse. En général, les normes se limitent sur des **teneurs en PFOS** (parfois sommées avec celles en PFHxS) **et en PFOA** (parfois une somme de PFAS traduite en équivalents PFOA). Dans aucun pays, il n'est fait de distinction sur la filière de traitement des boues, seule compte la teneur finale en PFAS des boues valorisées en agriculture. Cette limite, lorsqu'elle existe, est souvent définie via une réglementation sur les fertilisants. La valorisation agricole est interdite lorsque qu'elle dépasse les seuils suivants :

**Tableau 1 - Seuils d'interdiction de la valorisation agricole des boues**

<b>Pays</b>	<b>Définition du seuil</b>	<b>Valeur du seuil</b>
Autriche	PFOA + PFOS	100 µg/kg MS
Allemagne	PFOA + PFOS	100 µg/kg MS
Norvège	PFOA + PFOS	40 µg/kg MS
Suède	PFOS	120 µg/kg MS
USA - Michigan	PFOS	125 µg/kg MS
Canada	PFOS	50 µg/kg MS (provisoire)

Danemark	Somme 4 PFAS <sup>1</sup>	10 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS <sup>2</sup>	400 µg/kg MS
Australie	PFOA	25 à 130 µg/kg MS (proposition)
	PFOS + PFHxS	6,2 à 31 µg/kg MS (proposition)

Au niveau européen, l'évaluation de la directive Boues publiée en mai 2023 a mis en avant le besoin **d'intégrer de nouveaux paramètres à suivre tels que les composés organiques (dont les PFAS)**.

Certains Pays/Etats ont également définis des seuils d'alerte dans les boues au-delà desquels il est nécessaire de **prendre des mesures** :

**Tableau 2 - Seuils d'alerte pour les PFAS des boues**

Pays	Définition du seuil	Valeur du seuil	Action
Allemagne	PFOA + PFOS	50 µg/kg MS	Affichage que le lot de boues contient des PFAS
Colorado – Etats Unis	PFOS	50 µg/kg MS	Identification et évaluation des sources
Michigan – Etat Unis	PFOS	20 µg/kg MS	Ordonnance de mesures complémentaires
		50 µg/kg MS	Recherche des PFAS dans les effluents Recherche des sources
Queenslands – Australie	PFOS	1 µg/kg MS	Affichage que le lot de boues contient des PFAS
	PFHxS	3 µg/kg MS	
	PFOS+PFHxS	2 µg/kg MS	
	PFOA	4 µg/kg MS	
	PFBA, PFPeA, PFHxA	1 µg/kg MS	
	Somme PFCA C9-C14	10 µg/kg MS	
	PFOSA	1 µg/kg MS	
	N:2 FTS	4 µg/kg MS	

A noter également, que plusieurs pays/états n'autorisent pas la valorisation agricole des boues en agriculture ou en limite très fortement l'usage comme en Suisse, au Luxembourg et dans l'Etat du Maine. Pour d'autres pays la limite est indirecte car elle concerne une valeur maximale très basse dans les sols ou les eaux souterraines notamment pour le PFOS et le PFOA comme au Danemark.

Plusieurs pays ont également annoncé leur volonté d'abaisser les seuils et d'étendre la liste des substances à suivre comme en Allemagne et aux Etats Unis.

Le Quebec a, pour sa part, un projet de règlement renforçant les normes en distinguant deux catégories de matières fertilisantes, dont les seuils pour la somme de 13 PFAS (dont le PFOS et le PFOA) sont respectivement :

- pour la catégorie I1 : les critères sont :
  - PFOS : 11 µg/kg
  - PFOA : 8 µg/kg
  - somme 11 PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFDA, PFDS, 6:2 FTS, 5:3 FTCA, 7:3 FTCA, NMeFOSAA, NEtFOSAA et FHUEA) : 120 µg/kg
- pour la catégorie I2, les critères sont :

<sup>1</sup> PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS

<sup>2</sup> PFBS, PFPS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTTrS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA

- PFOS : 50 µg/kg
- PFOA : 38 µg/kg
- Somme 11 PFAS (les mêmes) : 600 µg/kg

### 3. Sources d'émissions

Les PFAS sont utilisées dans de **nombreux produits de consommation courante**, des produits utilisées par des activités artisanales ou des applications industrielles (emballages alimentaires, fluides réfrigérants des pompes à chaleur, mousses anti-incendie, production de panneau solaire et d'éolienne, additifs de produits pesticides, agents imperméabilisants ou antitaches dans l'industrie textile, etc.). Cela implique qu'à l'échelle d'un territoire les sources de PFAS peuvent être diverses et variées et vont dépendre du bassin de population et des activités économiques historiques ou actuelles. En dehors des sites industriels producteurs ou consommateurs de PFAS, il est donc souvent **complexe de déterminer la source d'une contamination**. Cela est d'autant plus vrai pour les PFAS à chaîne courte qui sont très mobiles et qui résultent souvent de la dégradation d'autres PFAS à chaîne plus longue. Les PFAS à chaîne plus longues, tels que les FTS utilisés dans les mousses anti-incendie ou les diPAP utilisés dans les cosmétiques sont plus spécifiques et peuvent être rattachés à certains usages surtout lorsqu'ils sont mesurés en combinaison avec d'autres PFAS.

Parmi les **sites potentiellement émetteurs de PFAS**, sont mis en évidence :

- Les **sites industriels** : Les PFAS entrent dans la formulation de nombreux produits et peuvent être utilisés lors de process industriels, lesquels peuvent aussi induire la production d'impuretés et de produits de dégradation qui seront également émis dans l'environnement. Parmi les sites industriels potentiellement émetteurs de PFAS, on trouve les sites de **traitement de surface et de placage métallique**, **l'industrie textile**, la **fabrication de peinture et vernis**, l'industrie des **semi-conducteurs** et celle de la **photographie**. Il est important de noter que certains industriels ignorent qu'ils utilisent des PFAS car les produits qu'ils utilisent ne mentionnent pas forcément la présence de ces additifs dans leur composition ;
- Les **sites d'utilisation de mousses anti-incendie** : Les mousses contenant des agents formant un film flottant (AFFF) « ancienne génération » contenaient du PFOS et/ou du PFOA. Les mousses AFFF « nouvelle génération » contiennent des substituts de PFAS à chaînes courtes (C4 à C6) ou à chaînes longues (C9 à C20), considérées comme non-précurseurs. Ces mousses contiennent toujours des PFAS et des produits de dégradation considérés comme SVHC<sup>3</sup>, tels que le 10:2 FTS, le 8:2 FTS, le 6:2 FTS, le PFHxA et le PFHxS ;
- Les **aéroports, aérodromes et ateliers de maintenance aéronautique** : Dans l'aéronautique, les PFAS sont utilisés comme fluide hydraulique (en faible quantité) et comme isolant de matériel électronique. L'utilisation de mousses anti-incendie y est également plus fréquente ;
- Les **sites de gestion des déchets** : Les centres de tri, les usines de recyclage, les centres de valorisation énergétique et les centres d'enfouissement rassemblent les déchets générés par les produits de consommation en fin de vie, ce qui peut se traduire par une présence très élevée de PFAS dans leurs effluents ;
- Les **abattoirs** : Les campagnes menées aux Etats Unis ont montré que les effluents liquides des abattoirs de porcs et de volailles présentent des taux élevés de PFAS (emballages,

---

<sup>3</sup> Substance of Very High Concern : substances considérées extrêmement préoccupantes au sens de la directive REACH. C'est-à-dire qu'elles présentent au moins une des caractéristiques suivantes : CMR (cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction), PBT (persistante dans l'environnement ou les organismes, bioaccumulable et toxique), vPvB (très persistantes et très bioaccumulables) et/ou substance qui présente un niveau de préoccupation similaire comme les perturbateurs endocriniens.

revêtements de sol et murs spécifiques contenant des PFAS afin de renforcer leur résistance aux biocides, paillage « nouvelle génération ») ;

- Les **établissements de santé** : L'emploi de revêtements spécifiques résistants aux biocides et de tissus antitaches peut être une source significative de contamination des effluents liquides de ces sites ;
- Les **émissions diffuses** : Les PFAS vont se disperser dans l'environnement via la déposition d'aérosols notamment issus de l'usinage ou la combustion des produits contenant des PFAS, l'épandage agricole (notamment de boues ou de pesticides additivés avec des PFAS), ainsi qu'à l'occasion d'événements accidentels tels que les incendies. Une partie de cette contamination va pouvoir gagner les stations d'épuration via les réseaux d'eaux pluviales et les réseaux d'assainissement unitaires.

On peut encore noter que les usages domestiques des PFAS représentent une part importante des PFAS qui arrivent en STEP : utilisation de produits d'entretien, de cosmétiques, de produits d'hygiène, d'antibuée, de produits contenant du téflon ou du goretex et lavage des textiles.

#### **4. Comportement des PFAS dans l'environnement et dans les stations d'épuration**

Les traitements actuellement mis en œuvre dans les stations d'épuration **sont globalement inefficaces vis-à-vis des PFAS**. Au cours du traitement, les PFAS à chaîne longue peuvent être réduits en PFAS à chaîne plus courte qui seront plus stables et plus mobiles. Du fait de la transformation, lors du traitement en STEP, de composés non-recherchés, il est possible d'obtenir des rendements épuratoires négatifs pour les principaux PFAS en C4-C8.

Le partage des PFAS entre la phase liquide et la phase solide va dépendre de plusieurs facteurs mais on peut retenir deux faits principaux :

- Plus la chaîne carbonée du PFAS est longue, plus il va s'adsorber sur les boues ;
- Plus le milieu sera acide, plus la capacité d'adsorption des PFAS sur les boues sera forte.

#### **5. Analyse et suivi des PFAS dans les matrices aqueuses et solides**

En ce qui concerne le prélèvement et la conservation de l'échantillon, des précautions doivent être prises vis-à-vis des matériaux utilisés pour le prélèvement et le stockage afin d'éviter de fausser l'échantillon (en utilisant des matériaux qui relarguent des PFAS ou du verre qui peut adsorber une partie des PFAS contenus dans l'échantillon).

Les échantillons d'eau doivent être stockés à l'abri de la lumière et au frais (1°C-6°C) et peuvent être conservés ainsi jusqu'à 28 jours. Les échantillons de boues peuvent être stockés comme les échantillons de sols : stockage à une température comprise entre 0°C et 6 °C ou à -20°C pour maximum 90 jours.

Pour le prélèvement d'eau : il semblerait que des échantillons proportionnels au débit sur 24 heures pendant plusieurs jours consécutifs soient le plus approprié en termes de représentativité de l'échantillon. Attention toutefois aux échantillonneurs automatiques qui présentent un risque élevé de contamination croisée à cause des différents éléments qui constituent le dispositif de prélèvement, souvent fabriqués à partir de plastiques contenant des perfluorés (tubes, vannes, crépines, etc.).

Pour le prélèvement des boues : il est conseillé de réaliser des prélèvements d'échantillons moyennés spatialement sur la même période de prélèvement que les eaux.

Les différentes techniques analytiques pouvant être mises en œuvre pour l'analyse des PFAS sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 - Récapitulatif des techniques analytiques des PFAS avec leurs avantages et inconvénients

Méthode analytique	Avantages	Inconvénients
Chromatographie liquide ou gaz couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS ou GC-MS/MS)	Quantitative Précise Limites de quantification basses	Longue préparation de l'échantillon Nécessite des étalons Nécessite du personnel qualifié Coûteuse en termes de moyens matériels et financiers
Analyse du fluor organique global (AOF/EOF)	Peu coûteuse	Semi-quantitative Tous les PFAS ne sont pas extractibles comme les PFAS à chaînes courtes Résultat en équivalent fluorures total
Analyse des PFAS via une oxydation forcée (TOP)	Participe à l'évaluation des risques Complémentaire aux deux techniques précédentes	Semi quantitative Ne peut être considérée isolément
Capteurs	Simple à mettre en œuvre. Ne nécessite pas du personnel qualifié Mesure sur le terrain Peu coûteux une fois déployés	En voie de développement Limites de quantification élevées

## 6. Mise en œuvre de campagnes de suivi des PFAS dans les eaux usées et les boues des stations d'épuration

La mise en place d'une campagne de surveillance des PFAS dans des STEP dépend des objectifs de l'étude et des moyens (matériels et humains) pouvant être mis en œuvre. Au vu des connaissances et des réglementations existantes sur le sujet, les étapes suivantes ont été identifiées et des propositions formulées pour la mise en œuvre à long terme d'une campagne de surveillance des PFAS dans les eaux et les boues de STEP :

### Définition des sites cibles :

- Liste principale reprenant toutes les STEP d'une taille supérieure à 10.000 EH ou 50.000 EH (selon l'ambition et les moyens de la campagne) ;
- Liste complémentaire de STEP répondant à au moins un des critères suivants :
  - Présence « significative » de PFAS détectée dans les eaux lors de l'audit réalisé en avril-mai 2024 ;
  - Présence « significative » de PFAS détectée dans un lot de boues destiné à la valorisation agricole ;
  - Présence sur le bassin de la station d'un hotspot<sup>4</sup> ;
  - Présence sur le bassin de la station d'un site prioritaire<sup>5</sup> ;

<sup>4</sup> On parle de « hotspot » lorsque la concentration en PFAS détectée sur un site atteint un niveau que les experts estiment dangereux pour la santé (et donc largement supérieure aux seuils de significativité). La définition exacte peut varier selon les seuils de danger considérés et les substances suivies.

<sup>5</sup> Les sites prioritaires sont des sites avec une présence avérée (ou une forte présomption de la présence) de PFAS. Il s'agit par exemple de sites industriels avec un usage connu (actuel ou passé) ou probable de PFAS, de sites où des mousses anti-incendie ont été (possiblement) utilisées (bases militaires, aéroport, centre d'entraînement, sites de stockage ou de production de PFAS), de sites de traitement et de stockage de déchets (actifs ou anciens) ou de zones où un hotspot a été mesuré dans l'environnement.

- Présence sur le bassin de la station d'un site dont le permis de rejet cite les PFAS ;
- Demande d'une autorité de santé ;

**Définition des PFAS à suivre** selon la pertinence et la faisabilité analytique. Il faut s'assurer que la limite de quantification de chaque substance est inférieure aux limites de significativité<sup>6</sup>. Le rapport identifie **33 composés** comme étant pertinents pour un suivi (PFAS concernés par le directive eau potable, PFAS concernés par la révision de la directive NQE et 5 composés souvent suivis dans d'autres pays et souvent typique d'un usage particulier<sup>7</sup>).

**Définition des modes et méthodes d'échantillonnage** pour les matrices eau et boue selon les résultats analytiques de l'état des lieux et la réglementation, tout en s'assurant de la représentativité de l'échantillon et en garantissant la sensibilisation des opérateurs aux enjeux de l'échantillonnage des PFAS.

**Définition des seuils de significativité** pour les eaux et les boues ;

**Mise en place d'un plan d'actions en cas de significativité.** Exemples d'actions possibles :

- Information des parties prenantes du territoire ;
- Diagnostic amont avec recherche des sources ;
- Mesures relatives à la valorisation agricole des boues ;
- Mesures relatives aux terres agricoles où les boues auraient été épandues.

## 7. Possibilités de traitement

Il y a plusieurs techniques possibles pour le traitement des PFAS dans l'eau. Certaines sont éprouvées et d'autres se révèlent prometteuses (voir tableau ci-dessous).

Tableau 4 - Techniques de traitement des PFAS dans l'eau

<b>Traitements destructifs</b>	
Électrolyse catalytique et sonolyse	Le développement de ces techniques est encore en cours
<b>Traitements non destructifs</b>	
Techniques membranaires : osmose inverse, ultrafiltration, nanofiltration	Ces techniques sont éprouvées et de plus en plus déployées pour le traitement des PFAS
Flottation ou technologie des microbulles (ozone ou air) <sup>8</sup>	Technique adaptée à des concentrations élevées en PFAS (de l'ordre de 2 à 5 µg/l pour la somme des PFAS)
Adsorption sur CAG	Technique éprouvée et largement utilisée
Adsorption sur de nouveaux matériaux ou utilisation de nouveaux précipitants	Cette technique se base sur l'utilisation d'adsorbants et précipitants à base d'argile, de cellulose ou d'amidon. Son développement est encore en cours et vise le traitement des PFAS à chaînes courtes
Résines échangeuses d'ions	Technique éprouvée

<sup>6</sup> La limite de significativité est la valeur au-delà de laquelle le résultat d'une analyse peut conduire au dépassement d'une valeur limite (seuil d'alerte, limite réglementaire) et/ou servir au déclenchement d'actions.

<sup>7</sup> PFOSA (produit de substitution des PFCA et PFSA, suivi au Danemark et en Australie, 6:2 FTS, 8:2 FTS (les FTS sont suivis notamment aux Etats-Unis et liés à l'utilisation de mousses anti-incendie), TFA (produit de dégradation final de nombreuses substance fluorées) et 8:2 diPAP (suivi notamment aux Etats-Unis et liés à l'utilisation domestique de produits contenant des PFAS comme des produits cosmétiques).

<sup>8</sup> Autre nom possible : foam/ozone fractionation

Le choix d'une technique par rapport à une autre est à prendre selon le meilleur compromis technico-économique et en prenant en compte l'évolution de la réglementation. Ainsi, il est important d'opter pour une planification modulable et adaptative.

En ce qui concerne les boues, c'est **l'incinération des boues** contenant des PFAS qui est actuellement considérée comme l'option de traitement la plus efficace. Néanmoins, les températures nécessaires sont très hautes (1100°C voir 1300°C) et les produits issus de l'incinération incomplète de ces déchets peuvent être toxiques, en cas de traitement des fumées déficient/dysfonctionnant. D'autres techniques destructives, visant des performances similaires voire meilleures à celles de l'incinération, sont en voie de développement (la dégradation mécano-chimique par exemple). À terme, ces nouvelles techniques pourraient offrir un meilleur compromis entre traitement, consommation énergétique et coût d'investissement.