



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Cadres de gestion de la contamination par les PFAS (substances perfluoroalkyles ou polyfluoroalkyles) des matières fertilisantes

Rapport CGAAER n° 25101, IGEDD n° 016408-01

établi par

**Pascal KOSUTH (IGEDD)
Céline SCHMIDT et Laurent WENDLING (CGAAER)**

2026



CGAAER

CONSEIL GÉNÉRAL

DE L'ALIMENTATION

DE L'AGRICULTURE

ET DES ESPACES RURAUX

SOMMAIRE

RESUME.....	6
LISTE DES RECOMMANDATIONS.....	8
INTRODUCTION	10
1. L'ENCADREMENT REGLEMENTAIRE	11
1.1. Les composés PFAS en France et en Europe : définitions, enjeux associés et encadrement réglementaire	11
1.1.1. Définitions et présentation générale des PFAS.....	11
1.1.2. Cadre réglementaire européen	12
1.1.2.1. Des restrictions de fabrication et d'utilisation des PFAS, en voie de renforcement	12
1.1.2.2. Un cadre réglementaire européen uniquement pour l'eau et l'alimentation	13
1.1.3. Prise en compte française	13
1.1.3.1. Encadrement national et plan d'actions interministériel sur les PFAS	14
1.1.3.2. La loi de février 2025, une spécificité française	14
1.1.3.3. Un début d'encadrement par bassin par les SDAGE.....	15
1.1.3.4. Des études et missions diligentées récemment.....	15
1.2. Réglementation française applicable aux matières fertilisantes	16
1.2.1. Définitions	16
1.2.2. Les cadres réglementaires des différentes matières fertilisantes	17
1.2.2.1. Une « offre réglementaire » souple selon le type de MFSC	17
1.2.2.2. La réglementation ICPE et IOTA sur les boues	18
1.2.2.3. L'introduction à venir du « socle commun » en France	18
1.3. Une directive « eaux résiduaires urbaines 2 », impactant le gisement de boues	19
2. CADRE GENERAL DES MATIERES FERTILISANTES EN FRANCE	20
2.1. Matières fertilisantes utilisées en France – origines, quantités, usages et enjeux ...	20
2.1.1. Matières organiques	21
2.1.1.1. La production de MAFOR en France : origines et volumes	21
2.1.1.2. Boues (STEU et ICPE) et digestats (méthaniseurs)	22
2.1.1.3. Synthèse sur les tonnages de MAFOR.....	24
2.1.2. L'utilisation des MAFOR : enjeux et source de tension pour les différentes filières d'épandage	25
2.1.2.1. Principaux usages	25
2.1.2.2. La diminution du gisement de MAFOR : enjeux et impacts	26
2.1.3. Matières minérales	27
2.2. Connaissances sur les niveaux de contamination en PFAS	27
2.2.1. Métrologie des PFAS dans les MFSC.....	27
2.2.1.1. Echantillonnage et prélèvement des MFSC pour l'analyse des PFAS ...	27
2.2.1.2. Méthodes d'analyse des échantillons (préparation, extraction, mesure) ..	28
2.2.1.3. Risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions ..	29
2.2.2. Niveaux de contamination en PFAS des différentes MFSC : données françaises disponibles	29
2.2.2.1. Teneurs en PFAS des boues de STEU urbaines	30
2.2.2.2. Analyse des PFAS dans les boues du RSDE Loire Bretagne 2022	30
2.2.2.3. Les analyses PFAS dans les boues par les opérateurs de STEU	32
2.2.2.4. Revue bibliographique des données françaises disponibles sur la contamination de toutes les MFSC.....	32

2.2.3. Contamination PFAS des compartiments associés	33
2.2.4. Des cas emblématiques de contamination par les PFAS des MFSC et de modes de gestion sur le territoire français.....	35
2.2.5. Que faire des boues contaminées ?	36
2.2.5.1. Incinération	36
2.2.5.2. Foresterie	36
2.2.5.3. Le mélange de boues pour déshydratation.....	37
2.2.5.4. La méthanisation	37
3. SYNTHÈSE DU PARANGONNAGE DE PAYS AYANT MIS EN PLACE UNE RÉGLEMENTATION	38
3.1. Processus ayant permis le parangonnage et ces limites	38
3.2. Des points communs, malgré la diversité des contextes.....	39
3.2.1. Des facteurs communs à l'origine d'une volonté de régulation	39
3.2.2. La préoccupation centrée sur les boues de stations d'épuration.....	39
3.2.3. Certains composés PFAS systématiquement pris en compte	39
3.2.4. Caractérisation et traçabilité des boues sont des enjeux majeurs.....	39
3.2.5. Des taux de non-conformité faibles face aux réglementations	40
3.3. Les composés PFAS retenus dans les cadres de gestion	40
3.4. L'élaboration des cadres de gestion	42
3.4.1. Structure des cadres de gestion :	42
3.4.2. Typologie des démarches :.....	43
3.5. D'incitatifs à réglementaires, des cadres de gestion à portée variable.....	45
3.6. Impacts et mesures d'accompagnement : un recul insuffisant.....	45
4. INTRODUCTION D'UN CADRE RÉGLEMENTAIRE SUR LES PFAS DANS LES MATIÈRES FERTILISANTES ..	47
4.1. Une stratégie à la croisée d'enjeux sanitaires, environnementaux et d'économie circulaire	47
4.2. Les points de vue des acteurs	47
4.3. Cadres de gestion PFAS dans les MFSC et anticipation des impacts	49
4.3.1. Pertinence de l'introduction rapide et progressive de seuils en PFAS dans les MFSC et proposition d'une méthode	50
4.3.2. Une stabilisation des protocoles métrologiques des PFAS dans les matrices solides	52
4.3.3. Une organisation du suivi des teneurs en PFAS des sols	53
4.3.4. Campagne nationale 2026-2027 de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats valorisés par épandage agricole.....	54
4.3.5. Une amélioration de l'information sur les MAFOR	55
4.3.6. Coordination nationale du suivi des teneurs en PFAS des MFSC et des sols.....	55
4.3.7. Mesures d'anticipation des impacts et d'accompagnement	56
CONCLUSION.....	58
ANNEXES	60
Annexe 1 : Lettre de commande et saisine du HCSP	62
Annexe 2 : Bibliographie	66
Annexe 3 : Liste des personnes rencontrées	69
Annexe 4 : Liste des sigles utilisés	76
Annexe 5 : Liste des tableaux et figures	79
Annexe 6 : Fiches de synthèse par pays	82
Annexe 7 : Définitions.....	118
Annexe 8 : Les campagnes RSDE dans le bassin Loire Bretagne	119
Annexe 9 : Illustration d'un protocole d'échantillonnage, applicable à différentes MFSC	123
Annexe 10 : Échange de courriers entre la DREAL de Bassin Loire Bretagne et la DEB et la DGPR.....	127

Annexe 11 : Incinération basse température – société Véolia Brevet n°23 02257.....	134
Annexe 12 : Fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration (FGRE)	135
Annexe 13 : Impact de siccité des boues sur leur teneur en PFAS	137
Annexe 14 : Épaississement des boues en station d'épuration.....	139
Annexe 15 : Les différentes boues – origines - destinations.....	142
Annexe 16 : Analyse d'impact de l'application du socle commun pour le cadmium.....	148
Annexe 17 : Frise temporelle : prise en compte depuis les années 2000 de la problématique PFAS dans les EDCH et les boues	150
Annexe 18 : Méthodes d'analyse des échantillons (préparation, extraction, mesure) et risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions.....	151
Annexe 19 : La production de MAFOR en France : origines et volumes	154
Annexe 20 : Extrait étude SYNTEAU sur l'impact de la DERU2 article 11	156

RESUME

Les risques sanitaires et environnementaux associés aux substances perfluoroalkyles et polyfluoroalkyles (PFAS) ont conduit à des restrictions d'usage pour certaines d'entre elles (règlements REACH, POP) ainsi qu'au développement de cadres réglementaires spécifiques pour l'alimentation, l'eau potable et la surveillance des milieux (eaux de surface, eaux souterraines, et plus récemment les sols). Les matières fertilisantes, et parmi elles plus particulièrement les boues et digestats de stations d'épuration urbaines ou industrielles, constituent des vecteurs potentiels de diffusion des PFAS vers l'environnement. Elles peuvent être à l'origine d'une accumulation de PFAS dans les sols et de leur transfert vers les eaux, les biotes, les végétaux et ultimement vers l'eau potable et l'alimentation.

Dans ce contexte, une mission conjointe a été confiée par les ministères chargés de l'environnement et de l'agriculture à l'Inspection Générale de l'Environnement et du Développement Durable (IGEDD) et au Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER) afin d'établir un état des lieux des flux de matières fertilisantes et de leur contamination par les PFAS, d'analyser les cadres de gestion mis en place par d'autres pays, et de formuler des recommandations associées à l'introduction d'un cadre de gestion national. En parallèle, le Haut Conseil de la Santé Publique a été sollicité par les ministères chargés de l'environnement et de la santé pour fixer des valeurs seuils de teneur en PFAS, notamment pour les MFSC, ce qui a conduit la mission à ne pas investir ce champ.

Situation actuelle

Les apports annuels de matières fertilisantes en France sont estimés à 35,3 millions de tonnes de matière sèche (Mt MS). Une part relativement limitée de ces apports (environ 2.25 Mt MS) est susceptible d'être concernée par une contamination significative en PFAS, à savoir les matières fertilisantes d'origine résiduaire : boues de stations d'épuration urbaines et industrielles et digestats. Ces matières potentiellement plus à risque sont épandues sur environ 3 % de la surface agricole utile.

On dénombre en France environ 23 000 stations d'épuration, quelques milliers d'installations industrielles produisant des boues (secteurs de la papeterie, de l'agroalimentaire, de la chimie) et 1800 méthaniseurs. Il est important de souligner que 6 % des stations d'épuration (les stations urbaines de plus grande taille) sont à l'origine de 86 % du volume de boues produit en France.

La surveillance et le contrôle des PFAS reposent sur des listes de composés variables selon les matrices et milieux considérés, de quatre composés réglementés pour l'alimentation à 43 composés pour les sols. La connaissance des teneurs en PFAS des boues, des digestats et des sols les ayant reçus est embryonnaire en France. Les protocoles de mesure des teneurs en PFAS des matrices solides ne sont pas encore stabilisés, une norme internationale dédiée devant être publiée en 2026.

La mission a analysé les données récentes de contamination disponibles, notamment les données issues de la campagne de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux (RSDE) 2022 sur le bassin Loire Bretagne, ainsi que des données communiquées par les exploitants. Une première image de la situation, nécessitant impérativement d'être consolidée par des données complémentaires, indique que les teneurs en PFAS dans les boues – notamment les boues déshydratées - restent modérées. Les taux de non-conformités par rapport aux seuils définis en Wallonie (Belgique) sont estimés entre 2 et 5 % pour les boues traitées déshydratées françaises.

Plusieurs solutions existent pour gérer les boues contaminées en PFAS, telles que l'incinération (à une température qui varie selon le process utilisé), la valorisation hors production alimentaire ou

encore des traitements de déshydratation plus avancés.

Cadre de gestion de la contamination PFAS des boues mis en place dans d'autres pays

Les cadres de gestion mis en œuvre en Allemagne, en Belgique, au Canada, au Danemark, en Suède et dans certains États des États-Unis ont été analysés. Ces cadres sont dans l'ensemble récents, principalement centrés sur les boues de stations d'épuration, et ont souvent été mis en place en réponse à des crises locales ou des dépassements de normes dans l'eau potable.

Le nombre de PFAS pris en compte varie fortement selon les territoires (d'un seul composé à une vingtaine). Les cadres de gestion reposent généralement sur des seuils maximaux fixés pour la teneur en PFAS des boues, parfois complétés par des seuils intermédiaires et/ou des limitations des quantités épandues. La réflexion a porté plus rarement sur le contrôle des teneurs en PFAS dans les sols. Les méthodes de détermination des seuils diffèrent également : certains pays adoptent des seuils très bas conduisant à une interdiction *de facto* de l'épandage de boues ; tandis que d'autres choisissent de s'appuyer de manière pragmatique sur les données nationales d'occurrence, ou encore privilégient une démarche scientifique utilisant des modèles de simulation de transferts de PFAS dans les différents compartiments et des valeurs cibles dans ces mêmes compartiments.

Les retours d'expérience restent pour le moment limités : les pays considérés dans cette étude font état d'impacts modérés en terme de non-conformité des boues, à l'exception de l'État du Maine qui a fixé des seuils extrêmement contraignants. L'introduction d'un cadre de gestion contribue à renforcer la confiance des acteurs et du monde agricole, parfois altérée lorsque la contamination des boues était le fait générateur d'une crise.

Recommandations pour la mise en place d'un cadre de gestion national

La mise en place d'un cadre de gestion national de la contamination par les PFAS des matières fertilisantes doit concilier trois familles d'enjeux : des enjeux sanitaires, des enjeux environnementaux et, enfin, des enjeux d'économie circulaire.

L'ensemble des acteurs consultés s'accorde sur la nécessité d'un cadre de gestion national permettant d'atteindre des objectifs clairs à moyen terme (10 ans), tout en étant suffisamment progressif pour leur donner les moyens d'adapter leurs filières.

La mission recommande ainsi une mise en œuvre en deux étapes.

Une première phase transitoire (2026-2028) consisterait à introduire sans attendre une première réglementation en s'inspirant d'un modèle étranger (le modèle wallon est considéré comme adapté au contexte français) et à l'accompagner impérativement de campagnes de mesures et du renforcement des connaissances.

Une seconde phase (2029-2035) mettrait en œuvre des seuils ajustés sur la base des connaissances acquises et du retour d'expérience de la phase 1 ainsi qu'une trajectoire progressive pour les atteindre. Le cadre devrait intégrer des seuils de teneur en PFAS dans les matières fertilisantes, dans les sols receveurs de ces matières, ainsi que des limites de flux à l'échelle des parcelles. Seuils et trajectoires devront être définis fin 2028.

La mission considère que le déploiement de campagnes de mesures nationales de PFAS dans les sols et dans les boues et digestats, après stabilisation des protocoles métrologiques, est essentiel à la pertinence du dispositif qui doit être mis en œuvre.

Enfin, une coordination nationale est jugée indispensable pour analyser de manière approfondie et centralisée les données collectées, assurer une information régulière et transparente des acteurs des filières concernées, suivre et accompagner les impacts à court et moyen terme liés à l'introduction du cadre de gestion, notamment pour les stations d'épuration de petite taille.

LISTE DES RECOMMANDATIONS

R1. Mettre en œuvre un processus réglementaire « PFAS et matières fertilisantes » rapide, échelonné en plusieurs étapes (DGAL, DEB, DGPR, DGPE, ...) :

(1) Diffuser une circulaire indiquant aux services de l'État la stratégie en deux étapes de maîtrise des risques de contamination par les PFAS des MFSC et des sols ; (2) Lancer la procédure d'intégration de seuils en PFAS dans le socle commun ; (3) Modifier avant l'été 2026 les dispositions des arrêtés du 8 janvier 1998 (IOTA) et du 2 février 1998 (ICPE) selon les trois règles proposées par la mission avec les seuils préconisés par le HCSP ou les seuils wallons dans un premier temps ; (4) Publier rapidement une instruction technique de la DEB proposant aux services déconcentrés un protocole métrologique ; (5) Mettre en place une certification des boues susceptibles d'être épandues ; (6) Mettre en place un dispositif opérationnel de suivi des PFAS dans les sols qui ont reçu des boues de STEU ou ICPE.

R2. Stabiliser les protocoles métrologiques des PFAS dans les matrices solides (DGPR).

Etablir dès 2026 un document-cadre sur les protocoles de prélèvement et d'analyse des teneurs en PFAS des boues, digestats et sols (matrices solides), en s'appuyant sur le projet de norme ISO/DIS 25652, sur les travaux de l'INERIS et d'AQUAREF, et sur le retour d'expérience du RSDE Loire Bretagne 2022. Ce document sera actualisé une fois publiée la norme ISO/DIS 25652. Exiger l'accréditation correspondante des laboratoires d'analyse et des organismes de prélèvement (acteurs à mobiliser : INERIS, AQUAREF,).

R3. Organiser le suivi des teneurs en PFAS des sols à l'échelle nationale (CGDD, DEB, DGPR, DGAL).

Cette organisation doit articuler (i) le suivi PFAS du RMQS, (ii) une campagne de mesure nationale 2026-2027 dédiée aux sols ayant reçu des épandages depuis 10 ans (en lien avec la campagne « boues de STEU et ICPE »), (iii) la mise en œuvre opérationnelle de la composante « sols » du cadre de gestion PFAS et MFSC. Rassembler l'ensemble des données ainsi acquises en un système d'information cohérent et en produire une analyse annuelle pour les trois à cinq prochaines années. Soutenir le développement des connaissances scientifiques sur les mécanismes de transfert de PFAS dans les sols et de modèles de simulation adaptés. Mobiliser ces connaissances et modèles pour faire évoluer le cadre de gestion. (acteurs à mobiliser : INRAE, BRGM, AQUAREF,)

R4. Organiser une campagne nationale de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats (DEB, DGPR).

Organiser dès 2026 une campagne nationale de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats de STEU et ICPE, rassembler l'ensemble des données ainsi acquises en un système d'information cohérent et en produire une analyse. Mobiliser ces connaissances et modèles pour faire évoluer le cadre de gestion (acteurs : DEB, INRAE, BRGM, AQUAREF,)

R5. Créer une base de données sur la production et la valorisation de toutes les MAFOR (MAASA, MTE).

Demander dès 2026 au SSP de constituer cette base puis de la mettre à jour. Intégrer les éléments en provenance ou à destination d'autres pays. Intégrer et vérifier la cohérence des informations fournies par les gestionnaires de STEU ou d'ICPE.

R6. Mettre en place une gouvernance et une coordination nationale du suivi des teneurs en PFAS des MFSC et des sols (toutes DG concernées - MAASA, MTE, MS).

Mettre en place pour une durée de cinq ans renouvelables une instance nationale de coordination du sujet « PFAS dans les sols et les matières fertilisantes », chargée de suivre la mise en œuvre du cadre de gestion, de coordonner les programmes de recueil, d'analyse

et de partage des données, d'évaluer l'impact sur les filières, d'évaluer l'évolution des systèmes de traitement et les stratégies d'adaptation, de réfléchir à l'actualisation du cadre de gestion (acteurs à mobiliser : recherche, filières économiques).

R7. Anticiper les impacts du cadre de gestion PFAS et MFSC, mesures d'accompagnement (toutes DG du MAASA et MTE concernées). Suivre les impacts associés à l'introduction du « cadre de gestion PFAS et MFSC » sur les volumes de MFSC non conformes, les surfaces de sols agricoles dépassant les normes de teneur en PFAS, les coûts de traitement ou destruction des MFSC non conformes. Mettre en œuvre les mesures cadre d'accompagnement préconisées et remobiliser pour cela le fonds de garantie existant actuellement pourvu à hauteur de 3,7 millions d'euros, en le renforçant (acteurs à mobiliser : les filières, les collectivités, CAF).

INTRODUCTION

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), encore appelées « polluants éternels », font l'objet de préoccupations grandissantes des autorités publiques et de la communauté scientifique depuis quelques années. Utilisées depuis les années 1950 dans de nombreux procédés industriels et produits de consommation, ces molécules se caractérisent par leur capacité à s'accumuler dans les sols, les eaux et les organismes vivants. Les effets toxicologiques néfastes pour certains composés les plus étudiés de cette vaste famille sont désormais confirmés.

Pour structurer les actions en réponse aux multiples enjeux sanitaires et environnementaux soulevés par les PFAS, la France a mis en place en 2024 un plan d'action interministériel ambitieux, visant à améliorer la connaissance, la surveillance et la réduction des expositions à ces contaminants.

Dans ce contexte, la gestion des matières fertilisantes potentiellement contaminées par les PFAS constitue un enjeu émergent pour les politiques environnementales et agricoles. En particulier, les boues issues des stations d'épuration urbaines ou industrielles, du fait de leur origine, peuvent concentrer des polluants comme les PFAS et être ensuite valorisées par épandage sur les sols agricoles. Cette pratique, qui s'inscrit dans une logique d'économie circulaire et de recyclage de nutriments essentiels, peut toutefois contribuer à la dissémination des PFAS dans les sols agricoles et, *in fine*, à la contamination du milieu aquatique et de la chaîne alimentaire.

A l'heure actuelle, peu de pays ont fixé un cadre réglementant les PFAS dans les matières fertilisantes. Pour autant, de nombreux dispositifs de surveillance et de maîtrise des risques associés aux PFAS sont établis ou en passe de l'être dans la plupart des pays européens, le diagnostic d'une nécessaire adaptation des politiques publiques étant partagé.

C'est dans cette perspective que les ministres chargés de l'agriculture et de l'environnement ont commandité cette mission interministérielle (cf. lettre de commande annexe n°1). Son objet est tout d'abord d'établir un point de situation actuelle des matières fertilisantes et de leur contamination par les PFAS en France, puis d'analyser les pratiques de gestion mises en œuvre dans des pays ayant déterminé des valeurs de référence en PFAS dans les matières fertilisantes. Il s'agit enfin de conseiller la puissance publique sur la façon d'introduire un cadre réglementaire, et d'anticiper et d'accompagner les impacts prévisionnels associés.

La proposition de valeurs de référence pour les PFAS dans les matières fertilisantes, en particulier dans les boues de stations d'épuration, fait l'objet d'une saisine indépendante faite au Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) par les ministères chargés de l'environnement et de la santé.

Les membres de la mission ont été désignés en septembre 2025¹.

Mots clés : boues, contamination, ICPE, IOTA, matières fertilisantes, normes, PFAS, qualité des sols, socle commun, sols, station d'épuration, surveillance

¹ Un quatrième membre a été appelé à d'autres fonctions, n'a pas participé à la rédaction et ne figure pas parmi les signataires

1. L'ENCADREMENT REGLEMENTAIRE

1.1. Les composés PFAS en France et en Europe : définitions, enjeux associés et encadrement réglementaire

1.1.1. Définitions et présentation générale des PFAS

Les PFAS constituent une large famille de plusieurs milliers de composés chimiques artificiels², présentant des propriétés industrielles intéressantes (antiadhésives, imperméabilisantes, stables, résistantes aux températures extrêmes, etc.). Ils ont été massivement utilisés depuis les années 50 dans de nombreux produits industriels et de consommation courante : textiles, ustensiles de cuisine, mousses extinctrices d'incendies, gaz réfrigérants, revêtements antiadhésifs, cosmétiques, dispositifs médicaux, produits phytopharmaceutiques, emballages,

Les PFAS ont comme point commun d'être persistants dans l'environnement – ce qui leur vaut la dénomination de « polluants éternels » - en raison de la solidité des liaisons carbone-fluor qu'ils contiennent. Ils sont également bioaccumulables, et se retrouvent largement présents dans l'ensemble des compartiments environnementaux : eaux, air, sols, sédiments et biotes.

Depuis les années 2000, les préoccupations internationales concernant les effets potentiels de ces familles de substances sur la santé ont conduit à une intensification des recherches au-delà des composés les plus étudiés PFOA (acide perfluorooctanoïque), PFOS (sulfonate de perfluorooctane), PFHxS (sulfonate de perfluorohexane) et PFNA (acide perfluorononanoïque). L'essentiel des connaissances disponibles concerne la famille des acides perfluoroalkylés (PFAA), substances très stables et peu dégradables. Les molécules produites ont évolué au cours du temps : les PFAA à chaîne longue (parmi lesquels le PFOS et le PFOA dont la dangerosité a été établie) ont progressivement été remplacés par d'autres composés (notamment par des PFAA à chaînes plus courtes), ce qui explique la coexistence de PFAS de différents types dans les milieux (INERIS ; 2025a).

Un certain nombre d'effets toxiques chez l'Homme sont aujourd'hui démontrés : augmentation du taux de cholestérol, cancers, effets sur la fertilité et le développement du fœtus, sur le foie, sur les reins, impacts sur le système immunitaire, etc. En décembre 2023, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le PFOA comme « cancérigène pour l'Homme » (Groupe 1) et le PFOS comme « peut-être cancérigène pour l'Homme » (Groupe 2B).

D'après les connaissances actuelles sur les PFAS, l'alimentation, incluant l'eau de boisson, apparaît comme la principale voie d'exposition aux PFAS pour la majorité de la population (EFSA 2020, ECHA 2023, INERIS 2025a).

L'étude de biosurveillance Esteban (Santé Publique France, 2019) montre une généralisation de l'exposition de la population française aux PFAS. Par comparaison avec d'autres États membres, les concentrations dans le sérum sanguin des adolescents échantillonnés sont particulièrement élevées en France : 24% dépassent la recommandation de l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) de 6,9 ng/ml pour la somme de PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS (initiative européenne de biosurveillance - HBM4EU ; Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan, 2025 - <https://www.hbm4eu.eu/>).

Les coûts de mortalité de l'exposition aux PFAS ont été estimés au minimum entre 52 et 84 milliards

² L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) définit les PFAS comme étant des molécules formées d'une chaîne d'atomes de carbone plus ou moins longue, linéaire, ramifiée ou cyclique, et contenant au moins un groupement méthyle (CH₃) ou méthylène (CH₂), saturé et complètement fluoré. À ce squelette fluorocarboné peuvent s'ajouter différents groupes fonctionnels, conférant des propriétés spécifiques selon les composés.

d'euros par an pour l'espace économique européen et la Suisse (Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan, 2025). L'inquiétude sur la dissémination de PFAS dans l'environnement via les matières fertilisantes est récente. A ce jour, très peu de données sur les teneurs en PFAS dans les matières fertilisantes ont été collectées, même au niveau mondial, et les données de contamination des sols français sont elles-mêmes encore très lacunaires.

1.1.2. Cadre réglementaire européen

1.1.2.1. Des restrictions de fabrication et d'utilisation des PFAS, en voie de renforcement

Les usages des substances PFAS sont encadrés par des règlements européens :

- n°1907/2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques (dit règlement « REACH »), qui fixe les règles générales pour ces substances ;
- n°2019/1021³ concernant les polluants organiques persistants (dit « règlement POP »), qui vise à interdire ou à limiter la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de ces polluants spécifiques.

Ainsi, les substances phares PFOS, PFOA, PFHxS sont interdites de fabrication et d'utilisation par le règlement POP (PFOS et ses dérivés depuis 2009, le PFOA et ses sels et composés apparentés depuis juillet 2020, et le PFHxS, ses sels et composés apparentés depuis juin 2022). En matière de gestion des déchets, des limites de concentration dans les déchets sont fixées pour ces trois composés :

- 50 mg/kg (de poids brut) pour le PFOS et l'ensemble de ses dérivés ;
- 1 mg/kg pour le PFOA et ses sels, et 40 mg/kg pour la somme des composés apparentés au PFOA ;
- 1 mg/kg pour le PFHxS et ses sels, et 40 mg/kg pour la somme des composés apparentés au PFHxS.

Les déchets dont la teneur en PFAS dépasse ces seuils ne peuvent être recyclés ni valorisés ; ils doivent être traités de façon à détruire ou transformer irréversiblement les PFAS.

Les mêmes trois substances PFOS, PFOA et PFHxS sont incluses dans la liste des SVHC (Substances of Very High Concern – substances extrêmement préoccupantes) du règlement REACH. Ce cadre européen est par ailleurs encore susceptible d'évoluer. Un consortium de cinq pays (Allemagne, Danemark, Pays-Bas, Suède et Norvège) a déposé en 2023 un projet de restriction auprès de l'agence européenne des produits chimiques (European Chemicals Agency – ECHA) concernant la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation des composés PFAS dans le cadre du règlement REACH. L'ECHA devrait transmettre son avis fin 2026 à la Commission européenne, qui devra alors décider de la restriction retenue en concertation avec les États membres. Le comité d'évaluation des risques (RAC) dans son avis final, et le comité d'analyse socio-économique (SEAC) dans son avis provisoire, rendus le 26 mars 2026, soutiennent une restriction à l'échelle de l'UE, soumise à des dérogations spécifiques, sur la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation des PFAS. Les comités recommandent également que toute restriction soit complétée par des mesures efficaces pour minimiser les émissions (<https://echa.europa.eu/fr/-/echa-supports-pfas-restriction-with-targeted-derogations>).

³ Modifié notamment par le règlement (UE) 2022/2400 du 23 novembre 2022

1.1.2.2. Un cadre réglementaire européen uniquement pour l'eau et l'alimentation

Plusieurs directives européennes, notamment la Directive n°2000/60/CE dite DCE⁴ et la Directive n°2020/2184 dite EDCH⁵ ont pris en considération certains composés PFAS (cf tableau n°9).

- Milieux aquatiques

Lors de la révision de la DCE en 2013, le PFOS a été introduit dans la liste des substances dangereuses prioritaires dont les émissions dans l'environnement doivent être supprimées. Une norme de qualité environnementale a ainsi été fixée à 0,00065 µg/l dans les eaux de surface (moyenne annuelle) et à 9,1 µg/kg (poids frais) dans les organismes aquatiques.

Une proposition de révision de la directive a été adoptée par la Commission européenne en 2022 et approuvée par le Conseil en 2024 : elle prévoit d'inclure au total 24 PFAS (PFOS + 23 PFAS supplémentaires) dans la liste des substances dangereuses prioritaires à surveiller dans les eaux de surface, et d'inclure ce même groupe de 24 PFAS pour les eaux souterraines. Un accord politique provisoire très récent (octobre 2025) entre le Conseil et le Parlement européen vise entre autres à ajouter l'acide trifluoroacétique (TFA) à la somme des 24 PFAS pour les eaux de surface.

- Eaux destinées à la consommation humaine

La directive EDCH a été transposée en droit français en janvier 2023 pour une application au plus tard au 1er janvier 2026 des dispositions sur les nouvelles substances, notamment les PFAS. Elle fixe des exigences minimales relatives aux valeurs paramétriques utilisées pour évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (à compter de 2026 : 0,1 µg/l pour la somme de 20 PFAS ciblés ou 0,5 µg/l pour le total des PFAS présents). La France a choisi de retenir la limite relative aux 20 PFAS préoccupants.

- Denrées alimentaires

Des teneurs maximales ont été établies pour certaines denrées alimentaires d'origine animale, pour quatre molécules PFAS (PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS) (règlement (UE) n 2022/2388), et des valeurs cibles pour les mêmes composés sont fixées dans des matrices végétales (recommandation n°2022/1431). Ce dernier texte demande en parallèle aux Etats membres la mise en œuvre d'une collecte de données de contamination aux PFAS pour un large panel de denrées alimentaires sur la période 2022-2025.

- Sols

Enfin, la directive (UE) 2025/2360⁶, publiée en novembre 2025, est la base de la nouvelle stratégie européenne pour la qualité des sols. Elle définit des mesures pour surveiller et évaluer leur santé, introduit la surveillance de contaminants considérés comme émergents, et mentionne explicitement une liste de 21 PFAS dans l'annexe I, partie C consacrée aux descripteurs du sol à suivre, sans qu'ils soient assortis de critères-seuils. Elle mentionne également une seconde liste élargie à 43 PFAS (22 PFAS supplémentaires).

1.1.3. Prise en compte française

A ce jour, les cadres réglementaires applicables en France sur les teneurs en PFAS concernent

⁴ Directive (UE) 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

⁵ Directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH)

⁶ Directive (UE) 2025/2360 du Parlement européen et du Conseil du 12 novembre 2025 relative à la surveillance et à la résilience des sols

l'eau potable, l'alimentation et les biens de consommation. En revanche, il n'existe aucun cadre réglementaire, normatif ou indicatif, concernant les teneurs en PFAS des matières fertilisantes en général, des boues valorisées par épandage agricole en particulier, et des sols utilisés pour la production agricole.

1.1.3.1. Encadrement national et plan d'actions interministériel sur les PFAS

Depuis 2022, l'encadrement réglementaire national des PFAS ne cesse de s'étoffer, en application du cadre communautaire, avec la mise en œuvre ou le renforcement d'une politique de surveillance et/ou de contrôle des PFAS dans :

- les eaux souterraines et les eaux de surface⁷ ;
- les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)⁸⁹ ;
- les EDCH par application anticipée de la « directive EDCH »¹⁰ ;
- les émissions atmosphériques des installations d'incinération, de co-incinération et d'autres traitements thermiques de déchets¹¹ ;
- les rejets des stations d'épuration qui traitent les effluents de plus de 10 000 équivalents-habitant (EH)¹².

Dans un avis du 9 juillet 2024¹³, le Haut conseil de la santé publique (HCSP) recommande, en plus de la limite de 0,1 µg/l pour la somme de 20 PFAS dans les EDCH, d'ajouter une valeur-seuil provisoire de 0,02 µg/l pour la somme de quatre PFAS (PFOA, PFOS, PFNA et PFHxS) dans les EDCH et les eaux minérales naturelles à usage de boisson.

L'enrichissement de ce corpus réglementaire s'inscrit dans le plan d'action interministériel sur les PFAS publié en avril 2024, qui constitue la doctrine nationale dans laquelle s'inscrivent tous les actions et programmes menés sur le sujet des PFAS. Ce plan d'action intègre les actions prévues dans le plan du ministère chargé de l'environnement (MTE), publié en janvier 2023. Il est composé de cinq axes, se déclinant en 26 actions :

- axe 1 : acquérir des connaissances sur les méthodes de mesures des émissions, sur la dissémination et les expositions ;
- axe 2 : améliorer, renforcer la surveillance et mobiliser les données qui en sont issues pour agir ;
- axe 3 : réduire les risques liés à l'exposition aux PFAS ;
- axe 4 : innover en associant les acteurs économiques et soutenir la recherche ;
- axe 5 : informer pour mieux agir.

1.1.3.2. La loi de février 2025, une spécificité française

La France s'est également dotée d'une loi ambitieuse : la loi n°2025-188 du 27 février 2025 visant à protéger la population des risques liés aux PFAS, qui interdit les PFAS pour certains usages à partir du 1er janvier 2026 : farts de ski, cosmétiques, textiles d'habillement ou encore chaussures. Cette

7 Arrêté du 26 avril 2022 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement

8 Arrêté du 2 février 1982 modifié portant sur les émissions d'une majorité d'ICPE soumises à autorisation qui prévoit une valeur limite de concentration du PFOS dans les eaux rejetées au milieu naturel de 25 µg/l

9 Arrêté du 20 juin 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation

10 Les nouvelles limites de qualité réglementaires européennes ont été progressivement mises en place par les ARS à partir du 1er janvier 2023, avec une obligation à partir du 1er janvier 2026.

11 L'arrêté du 31 octobre 2024 fixe les modalités de prélèvement et d'analyse de 49 PFAS dans les émissions atmosphériques des installations citées.

12 L'arrêté du 3 septembre 2025 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les eaux en entrée et en sortie des stations de traitement des eaux usées urbaines

13 <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1409>

interdiction est étendue à tous les textiles (sauf dérogations liées à des usages essentiels par exemple) à partir de 2030. Le texte prévoit également un renforcement du contrôle sanitaire des PFAS dans les eaux potables, l'élaboration d'un plan interministériel pour le financement de la dépollution des EDCH, ou encore la création d'une redevance pour les installations classées soumises au régime d'autorisation et rejetant des PFAS dans l'eau.

Cette loi a l'avantage d'adopter une approche globale en considérant les PFAS comme une classe chimique unique alors que, jusqu'à présent, la réglementation européenne limitait généralement les restrictions à certains composés ou groupes de composés PFAS définis.

1.1.3.3. Un début d'encadrement par bassin par les SDAGE

De manière générale, les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) n'abordent pas de manière systémique la pollution par les PFAS, que ce soit dans une approche de connaissance ou de manière réglementaire. Néanmoins, le SDAGE 2022-2027 du bassin Loire-Bretagne prévoit la recherche de divers micropolluants (dont cinq composés PFAS¹⁴) dans des échantillons d'eaux brutes, d'eaux usées traitées et de boues, ceci afin d'améliorer la connaissance en matière de micropolluants et d'aider à la caractérisation des sources de pollution potentielles.

La disposition 5B3 du SDAGE Loire Bretagne indique ainsi que « *les collectivités maîtres d'ouvrage de stations d'épuration de plus de 10 000 EH poursuivent la recherche de la présence des substances [micropolluants] dans les boues d'épuration dès lors que les méthodes d'analyse sont disponibles. Lorsque la présence d'une ou de plusieurs substances est détectée, ces collectivités réalisent un diagnostic amont pour en identifier l'origine et en limiter les rejets* ». La disposition 5B2 et les annexes précisent la liste des composés PFAS à suivre. L'exemple du SDAGE Loire Bretagne illustre le début d'un encadrement de la contamination des eaux usées et des boues par les PFAS à l'échelle des bassins. Ce bassin compte 7 495 stations de traitement des eaux urbaines (STEU), dont 267 STEU de plus de 10 000 EH¹⁵. Les données de teneur en PFAS des boues de STEU recueillies sur le bassin Loire Bretagne ont alimenté l'analyse de contamination présentée en 2.2.2.2.

1.1.3.4. Des études et missions diligentées récemment

Les études et travaux scientifiques en cours ou diligentés très récemment sur le sujet des PFAS sont nombreux (INERIS 2024 ; HCSP 2024 ; BRGM 2024 ; INERIS 2025a ; Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan, 2025) et contribuent à l'évolution rapide des connaissances sur les PFAS et à leur prise en compte accrue par les pouvoirs publics. Les avis conséquents rendus par l'ANSES¹⁶ en 2025, faisant suite à une saisine portée par les cinq ministères de tutelle en 2022, en sont un exemple. Ils ont conduit à l'exploitation de près de deux millions de données disponibles pour 142 PFAS sur la période 2007-2024, afin de réaliser un bilan de la contamination dans divers compartiments : EDCH, eaux environnementales, aliments, air, poussières intérieures et extérieures, sols, etc. L'ANSES confirme ainsi que les données identifiées dans la littérature sont très limitées pour le compartiment « sols », en l'absence d'un programme de surveillance structuré à ce jour. Les données afférentes aux boues de station d'épuration sont encore plus lacunaires, mais une revue de la littérature sur le sujet a pu être effectuée par l'ANSES (les résultats ayant été intégrés à l'étude du compartiment « sols ») et a alimenté les conclusions du rapport.

14 (PFOS, PFDA, PFHxS, PFOA, PFHxA).

15 Les 267 STEU de plus de 10 000 eq. hab. se répartissent entre (1) 235 de 10 000 à 100 000 eq.hab. et 32 de plus de 100 000 eq.hab ; (2) AURA 30 ; Bourgogne Franche Comté 9 ; Bretagne 109 ; Centre Val de Loire 34 ; Normandie 3 ; Nlle Aquitaine 23 ; Occitanie 1 ; Pays de la Loire 58 (source : MTE).

16 Différents rapports consultables sur : <https://www.anses.fr/fr/content/surveillance-nationale-des-PFAS-integrer-les-donnees-de-contamination-et-de-toxicite>.

En l'état actuel des connaissances, les matières apportées aux sols, en particulier les épandages de boues urbaines et industrielles et dans une moindre mesure les autres matières organiques (ex digestats), sont identifiées comme des sources potentiellement importantes de transfert de PFAS vers l'environnement, pour lesquelles l'acquisition de nouvelles données d'occurrence apparaît indispensable. Peu d'études scientifiques portent spécifiquement sur le niveau de contamination des matières fertilisantes en PFAS et sur le rôle des pratiques de fertilisation dans l'enrichissement en PFAS des sols. Ces travaux sont détaillés ci-après en partie 2.2.2.

1.2. Réglementation française applicable aux matières fertilisantes

1.2.1. Définitions

Les Matières Fertilisantes et Supports de Culture (MFSC) et les Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR) sont des termes souvent utilisés de manière interchangeable, qui n'admettent pour autant pas la même acception.

Les MFSC englobent une plus large gamme de produits, y compris les matières naturelles, animales, minérales, et synthétiques, qui peuvent être utilisées pour la fertilisation et l'amélioration des sols. Les MFSC sont par ailleurs définies par l'article L255-1¹⁷ du code rural et de la pêche maritime (CRPM). Cet article distingue, d'une part, les matières fertilisantes qui intègrent les engrais, les amendements et les biostimulants et, d'autre part, les supports de culture, destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux. Le schéma qui suit présente de manière schématique les différentes catégories de MFSC.

Les MAFOR incluent des matières diverses issues de déchets, telles que les effluents d'élevage (bruts ou traités), les boues issues du traitement des eaux usées urbaines ou domestiques, les matières, eaux et boues d'épuration issues des industries (notamment agro-alimentaires), les composts, ou encore les digestats de méthanisation (compostés ou non), ... Ces matières peuvent être valorisées pour produire des matières fertilisantes.

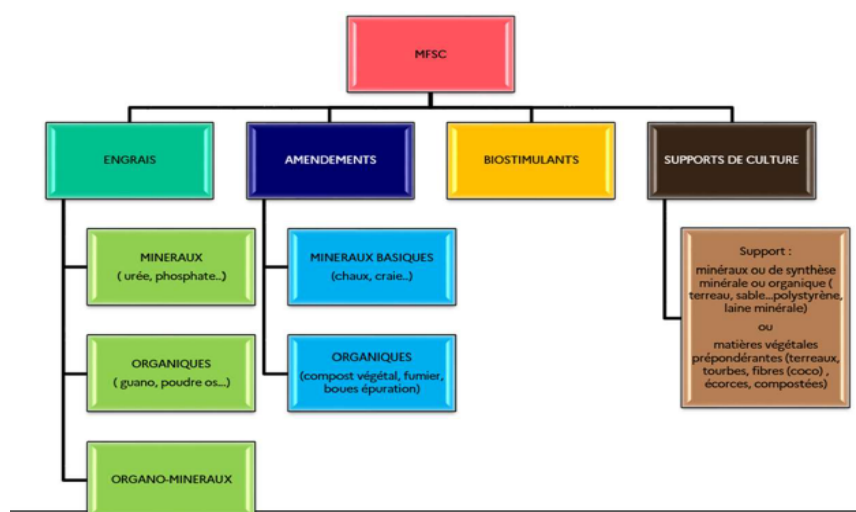


Figure 1 : catégories de matières fertilisantes et supports de culture (source DGAL 2024)

Les supports de culture ont été exclus du champ d'étude de la mission en application de la note de cadrage.

17 Article L255-1 du CRPM : Au sens du présent chapitre : Les " matières fertilisantes " sont des produits destinés à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ou les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elles comprennent, notamment :
1° Les engrais destinés à apporter aux plantes des éléments directement utiles à leur nutrition. Il peut s'agir d'éléments fertilisants majeurs ou secondaires ou encore d'oligo-éléments ;

1.2.2. Les cadres réglementaires des différentes matières fertilisantes

1.2.2.1. Une « offre réglementaire » souple selon le type de MFSC

L'encadrement national des MFSC s'est mis en place depuis plusieurs décennies, avec différents systèmes d'autorisation, afin de s'assurer que la fertilisation préserve la qualité des sols tout en limitant les transferts de contaminants dans les végétaux destinés à l'alimentation humaine ou animale. Le niveau d'exigences a été progressivement renforcé mais reste toutefois variable selon la nature et l'origine de la matière fertilisante ainsi que le type d'autorisation qui permet son utilisation.

La règle générale subordonne la mise sur le marché d'une MFSC à l'obtention d'une « autorisation de mise sur le marché » (AMM), délivrée après évaluation par l'ANSES. Il existe cependant de nombreuses exceptions à cette règle générale, dans le cadre des dispenses à l'AMM prévues par l'article L.255-5 du CRPM. Ces dérogations constituent *de facto*, en tonnage de matière sèche, la grande majorité des matières fertilisantes utilisées, parmi lesquelles :

- les produits conformes à une norme rendue d'application obligatoire (NFU) ;
- les produits porteurs du marquage CE, et conformes au règlement (UE) 2019/1009 ;
- les produits conformes à un cahier des charges approuvé (ex : cahier des charges « digestats ») ;
- les déchets, résidus ou effluents issus d'ICPE, dont l'épandage est encadré par des contrôles de qualité et des plans d'épandage validés par les services de l'État.



Figure 2 : catégories de dispenses d'autorisations de mise sur le marché des MFSC prévues par l'article L255-5 du code rural et de la pêche maritime (source DGAL 2024)

Le marquage CE : au niveau européen, le règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019¹⁸ établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE est entré en application en juillet 2022. Ce règlement établit des règles communes mais non obligatoires relatives à la sécurité, la qualité agronomique, l'étiquetage des MFSC, sans toutefois couvrir l'intégralité des produits existants. Il fixe des teneurs maximales à ne pas dépasser pour certains contaminants mais n'inclut ni restriction afférente à des apports maximaux admissibles ni disposition particulière aux PFAS. Pour pouvoir être marqué CE, et être ainsi vendu librement dans l'UE, un produit fertilisant doit satisfaire aux exigences du règlement (UE) 2019/1009. En vertu

¹⁸ Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE (<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj?locale=fr>)

du principe de libre circulation dans le marché unique, à partir du moment où il est marqué CE, aucun pays membre ne peut imposer de restrictions supplémentaires concernant les aspects couverts par ce règlement. Il n'existe par ailleurs aucune base de données permettant de tracer ces échanges, ce qui de facto nuit à la transparence des échanges dans les territoires frontaliers avec des normes différentes sur les PFAS. A l'heure actuelle, une proportion très minoritaire de MFSC fait l'objet d'un marquage CE.

Le périmètre d'application du règlement (UE) 2019/1009 est évolutif : par exemple, des fertilisants contenant certains sous-produits animaux jusqu'à présent exclus du champ d'application du règlement pourraient y être intégrés, à la faveur d'une extension prévue en 2026 de la liste des produits de la CMC 10 (Catégorie de Matières Constitutives -10 : produits dérivés au sens du règlement (CE) n°1069/2009¹⁹). Il est pour autant peu probable que ces évolutions conduisent à une augmentation significative du volume de fertilisants marqués CE mis sur le marché.

Les autres types de dispense d'AMM : les metteurs sur le marché et les producteurs de MFSC n'étant pas marqués CE ont la liberté de choisir de répondre aux obligations prévues par d'autres types de dispenses à l'AMM (notamment la conformité à une norme ou à un cahier des charges). Enfin, les MFSC considérées comme déchets sont soumises aux dispositions du règlement européen n°2019/1021 (règlement POP) citées en partie 1.2.

1.2.2.2. La réglementation ICPE et IOTA sur les boues

Les boues brutes, non transformées, issues des stations d'épuration industrielles ou urbaines sont exclues du champ d'application du règlement (UE) n°2019/1009. Le stockage et l'épandage de ces boues sont régis par la réglementation des ICPE (articles R.211-25 à 47 du code de l'environnement) et la nomenclature des installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) (article R.2114-1 du code de l'environnement) qui permettent un encadrement unifié de toute la chaîne (station de traitement des eaux usées, stockage et épandage).

Les prescriptions techniques pour l'épandage sur les sols agricoles des boues issues du traitement des eaux usées (qualité et valeur agronomique des boues, conception et gestion des épandages, modalités de surveillance, exclusions) sont fixées par l'arrêté du 8 janvier 1998²⁰. Les opérations d'épandage doivent respecter des normes strictes pour garantir la qualité des sols et la protection de l'environnement²¹. A l'heure actuelle, les réglementations ICPE et IOTA ne prévoient pas de prescriptions sur les teneurs en PFAS des boues.

1.2.2.3. L'introduction à venir du « socle commun » en France

La loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC) incite à la valorisation en agriculture des matières issues du recyclage, et prévoit que soient fixés par voie réglementaire des critères de qualité agronomique et d'innocuité applicables à l'ensemble des MFSC en fonction de leur utilisation. Elle a également prévu une révision des critères sanitaires applicables aux boues d'épuration pour leur retour au sol en fonction de l'évolution des connaissances.

Quatre projets de textes réglementaires issus de cette loi, appelés « socle commun », ont été notifiés

19 Règlement (CE) n°1069/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine. Les ajouts envisagés à la CMC-10 concerneraient la glycérine, des protéines hydrolysées, des cornes et sabots, ou encore des produits à base de viandes et d'os,

20 Arrêté du 8 janvier 1998 modifié fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

21 Arrêté du 2 février 1998 modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

à la Commission européenne et devraient être publiés en 2026. Ce corpus réglementaire, constitué de deux décrets et de deux arrêtés, encadre la mise sur le marché des MFSC en distinguant quatre catégories de fertilisants (A1, A2, B1 et B2) en fonction de leur innocuité et de leur usage par des utilisateurs professionnels ou non professionnels que la valorisation soit financière ou pas. Les dispositions de ces textes intègrent à la fois des critères d'innocuité portant sur les teneurs maximales en contaminants et des critères portant sur des apports maximaux (flux) adaptés pour chacune des catégories en lien avec les risques liés à leurs usages. Les teneurs les plus restrictives (catégorie A1) sont identiques à celles du règlement (UE) n°2019/1009.

Les dispositions du futur « socle commun » ont vocation à s'appliquer à toutes les MFSC, hormis les fertilisants marqués CE pour lesquels le metteur sur le marché a souhaité se conformer aux exigences du règlement (UE) 2019/1009. L'évolution réglementaire apportée par l'introduction du « socle commun » rend nécessaire la révision de l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux boues épandues sur les sols agricoles (cf. 1.2.2.2) : c'est ainsi qu'un projet d'arrêté révisé, cohérent avec les critères d'innocuité et de flux fixés par le « socle commun » pour la catégorie B2 applicable aux boues, est sur le point d'être finalisé, après avis favorable du Comité National de l'Eau. Les boues générées par les ICPE sont réglementées par l'arrêté du 2 février 1998. Les digestats de méthaniseurs sont soumis selon le cas, soit à la réglementation IOTA si elles proviennent d'une unité de méthanisation intégrée à une STEU, soit à l'arrêté du 2 février. Il est donc nécessaire de modifier les deux arrêtés afin d'encadrer un maximum de sources de production de matières fertilisantes d'origine résiduaire. A la date de rédaction du présent rapport, les différents cadres réglementaires européens et nationaux afférents aux MFSC ne fixent aucune restriction intéressant les composés PFAS.

1.3. Une directive « eaux résiduaires urbaines 2 », impactant le gisement de boues

La directive « eaux résiduaires urbaines » révisée (DERU 2 du 27 novembre 2024²²) se substitue à celle adoptée en 1991²³ et doit être transposée en droit français au plus tard le 31 juillet 2027. Elle concerne à la fois les eaux usées domestiques et les eaux usées issues d'activités industrielles lorsqu'elles sont rejetées dans les réseaux publics d'assainissement. Elle ouvre dans son article 11 le chantier de la surveillance des rejets de gaz à effet de serre (GES) pour les STEU à partir de 10 000 EH, mais aussi celui lié à la nécessité d'atteindre la neutralité énergétique pour les STEU à l'échelle nationale, avec un recours à la production d'énergies renouvelables. Cette disposition aura un impact significatif à moyen terme sur le devenir des boues de stations d'épuration, puisqu'elle conduit à :

- orienter préférentiellement les boues (notamment celles contaminées par les PFAS) vers une valorisation énergétique ;
- diminuer de facto le gisement de valorisation en circuit court des boues par épandage ;
- transférer les PFAS dans les résidus de méthanisation dont il faudra trouver une destination compatible avec leur niveau de contamination en PFAS.

Le texte de la DERU 2 prévoit deux phases pour cet objectif de neutralité énergétique :

- des audits énergétiques des stations d'épuration et des systèmes de collecte tous les quatre ans (échéances fin 2028 pour les stations de plus de 100 000 EH et, fin 2032, pour les stations de plus de 10 000 EH) ;

²² Directive (UE) 2024/3019 du Parlement européen et du Conseil du 27 novembre 2024 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines (refonte) <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000050769931>

²³ Directive 91/271/CEE du Conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires

- plusieurs paliers d'objectifs nationaux pour que, d'ici fin 2045, l'énergie totale générée à partir de ressources renouvelables par les stations de plus de 10 000 EH atteigne progressivement 100 %.

SYNTEAU (syndicat des concepteurs et constructeurs de traitement de l'eau – annexe 20) a étudié à l'échelle du territoire français les investissements nécessaires pour respecter les exigences ambitieuses de cette nouvelle directive. D'après cette étude qui s'est servie des données présentes dans la base ROSEAU :

- 131 STEU en France disposent d'une unité de méthanisation ;
- 44 % des boues de ces STEU en 2025 partent vers une unité de méthanisation ;
- 24 % des STEU de plus de 10 000 EH seraient déjà autonomes en énergie.

Cette étude propose de généraliser la production de biogaz notamment par des méthaniseurs, ce qui nécessitera de :

- procéder à des mutualisations / regroupements de STEU voisines (< 50 km) afin de rentabiliser les capacités des digesteurs et booster la production de biogaz ;
- équiper *a minima* toutes les STEU de plus de 60 000 EH d'une unité de méthaniseur ;
- permettre l'importation de biodéchets afin de rationaliser l'usage des digesteurs ;
- d'adapter la réglementation car les STEU seront aussi des ICPE, importeront des matières (boues et biodéchets).

En synthèse, selon l'étude de SYNTEAU, il sera nécessaire que 90% des STEU de plus de 60 000 EH disposant de décanteurs primaires soient équipées de méthaniseurs (avec une échéance à 2033), et que 75 % des autres STEU de plus de 60 000 EH soient équipées de méthaniseurs (avec une échéance à 2039), sachant que cela ne couvre que 60 % des besoins. L'ensemble de la littérature consultée à la date de la rédaction du rapport envisage une trajectoire similaire vers le renforcement de la méthanisation dans les STEU. Même si l'analyse des conséquences de cette nouvelle directive n'est pas dans le périmètre de la mission, elle génère un impact fort sur les boues de STEU qui sont à l'origine de la majorité des PFAS dans les MFSC. Cela pourrait probablement conduire à :

- supprimer, de la valorisation agricole, l'intégralité des boues de toutes les STEU de plus de 60 000 EH, qui sont statistiquement les moins polluées en PFAS car déshydratées voire séchées ;
- importer toutes les boues des petites stations généralement liquides vers les stations les plus importantes ; d'après les gestionnaires, le bassin d'irrigation est entre 50 à 75 km ;
- concentrer fortement la production de digestats de méthaniseurs sur un nombre de sites faible et souvent proche d'incinérateurs si ces produits ne respectent pas les valeurs retenues ;
- déstabiliser fortement la filière d'épandage agricole dans les secteurs plus urbains.

2. CADRE GENERAL DES MATIERES FERTILISANTES EN FRANCE

2.1. Matières fertilisantes utilisées en France – origines, quantités, usages et enjeux

Les données qui suivent s'appuient sur un nombre restreint de publications²⁴, souvent basées sur

²⁴ Présentation du SOERE-PRO –INRAE 2023 -Flux et devenir de contaminants organiques liés aux apports de produits résiduaux organiques : quels impacts sur la qualité des sols ? (<https://valor-pro.hub.inrae.fr/content/download/6063/70147?version=1>)

les mêmes sources : l'enquête Pratiques culturelles sur les grandes cultures (PKGC 2011), UNIFA 2011, ADEME 2013. Dans les études citées ici, les termes MAFOR et MFSC (définis en 1.2.1.) sont souvent utilisés de manière indifférenciée. La mission a également mobilisé la base de données « Assainissement collectif » du MTE.

2.1.1. Matières organiques

Le gisement de matières organiques d'origine résiduaire est principalement constitué des effluents d'élevage, des boues et digestats de stations d'épuration urbaine, des boues et digestats d'ICPE. Le chapitre 2.1.1.1 en donne une vision d'ensemble, alors que le chapitre 2.1.1.2 éclaire plus spécifiquement les boues de STEU et d'ICPE et les digestats de méthaniseurs. Les estimations de tonnage des différentes sources étant hétérogènes et parfois divergentes, le chapitre 2.1.1.3 en propose une synthèse servant de base à la mission.

2.1.1.1. La production de MAFOR en France : origines et volumes

L'expertise scientifique collective (INRAE, CNRS) la plus récente sur la valorisation agricole des matières fertilisantes d'origine résiduaire a été publiée en 2014²⁵ (Etude ESCO MAFOR). Plusieurs points peuvent être mis en exergue (annexe n°19) :

- les effluents d'élevage produits en France représentent un volume annuel de 109 Mt MB (matière brute) équivalent à 31 Mt MS (matière sèche)²⁶, répartis pour moitié entre émissions au champ (déjections directes) et pour moitié effluents collectés ;
- les effluents d'élevage collectés représentent ~78 % des MAFOR épandues et constituent le principal gisement non impacté par une source soit industrielle, soit urbaine. Ils proviennent à 73 % de l'élevage bovin (source AGRESTe). Ce segment est depuis quelques années en décapitalisation, ce qui induit une diminution des quantités produites, les valeurs présentées constituant un maximum disponible ;
- la quantité de boues produites par les STEU urbaines était estimée à 976 000 t MS en 1998 (IFEN, 1998) et à 1 180 000 t MS en 2008 (MEEDDAT, 2009), soit une augmentation d'environ 21% en 10 ans. Les prévisions établies par la Commission européenne pour la France à l'horizon 2020 (Milieu Ltd et al., 2010) s'élevaient à 1 600 000 t MS / an²⁷. La production globale de boues entrant dans un processus d'épandage était estimée à 1.6 Mt MS (2014), devant progresser à 2 Mt MS ;
- la production et la valorisation des déchets organiques (y compris les boues et effluents industriels) ne sont pas réparties de manière homogène sur le territoire (production au nord et à l'ouest, besoin important à l'est et au sud, notamment en zones céréalières). Cette répartition inégale constitue un frein à l'utilisation de ces matières. En effet, la concentration de l'élevage dans certaines régions françaises, dont les effluents sont peu transportables, est synonyme de concentration du gisement de ce type de MAFOR. De même, les villes constituent des gisements localisés de MAFOR, principalement utilisables par l'agriculture périurbaine ;

²⁵ « Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier : impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques » (<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/MAFOR-synthese-vf-oct2014.pdf>)

²⁶ Cette estimation est reprise dans un rapport CGEDD/CGAAER de 2015 sur les épandages de matières fertilisantes d'origine résiduaire, sans que le détail de calcul y figure (https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/cgaaer_14074_2015_rapport.pdf)

²⁷ Référence février 2012 - Panorama des projets de recherche et perspectives sur la problématique des micropolluants dans les boues de stations de traitement des eaux usées urbaines

- l'État ne dispose pas de la connaissance des flux de MAFOR à l'import et à l'export ; la mise en œuvre de normes va conduire à supprimer des gisements et donc probablement, par un effet rebond, renchérir la matière importée qui sera transportée sur de plus grandes distances.

Ces données sont globalement cohérentes avec celles collectées dans l'annexe 15.

2.1.1.2. Boues (STEU et ICPE) et digestats (méthaniseurs)

Le code de l'environnement définit quatre familles de boues (cf. définitions en annexe 15) :

- les boues ordinaires non dangereuses²⁸ (incluant les boues de STEU) ;
- les boues d'effluents industriels non dangereuses ou dangereuses (incluant les boues d'ICPE) ;
- les boues et déchets liquides issus du traitement des déchets non dangereux ou dangereux ;
- les boues de dragage non dangereuses ou dangereuses.

Ces boues sont juridiquement considérées comme des déchets et doivent donc respecter les règles de gestion des déchets (articles L541-1 et suivants du code de l'environnement, qui définit les responsabilités des producteurs, les règles de collecte, transport, traitement et traçabilité). En particulier, la traçabilité des boues implique que l'ensemble des opérations relatives à leur gestion (production, expédition, réception ou traitement) soient enregistrées dans des registres de suivi des déchets (REP)²⁹ tenus à disposition du service d'inspection des installations classées. Le Tableau 1, communiqué par la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) à partir d'une compilation de sources hétérogènes (BDREP, BNPE, enquêtes), présente l'estimation 2022 du tonnage annuel de matière sèche de chaque type de boues (t MS). Le tonnage des boues de STEU est de 1 Mt MS, celui des boues d'ICPE non dangereuses de 0,25 Mt MS.

	année	Poids total (t Mtot)	Poids sec (t MS)	siccité (%)		Poids sec (t MS)	siccité (%)	source
Boues ordinaires, non dangereuses (dont STEU)	2 022	6 285 503	1 405 444	22%	Activité agriculture	7 435	50%	(1)
					Activités industrielles	239 804	50%	(2)
					Captage, distribution d'eau	1 158 205	20%	(3)
					boues STEU	1 008 205	20%	(3)
					boues de potabilisation	150 000	20%	(3)
Boues d'effluents industriels non dangereuses ou dangereuses (dont ICPE)	2 022	2 256 026	412 607	18%	dangereuses	166 957	27%	(1)
					non dangereuses	245 650	15%	(2)
Boues et déchets liquides provenant du traitement des déchets	2 022	2 629 241	709 895	27%	dangereuses	245 875	27%	(1)
					non dangereuses	464 020	27%	(1)
Boues de dragage non dangereuses ou dangereuses	2 022	6 512 084	3 256 042	50%	dangereuses	198 045	50%	(4)
					non dangereuses	3 057 997	50%	(4)
					dragage curage non pollués	1 546 154	50%	(4)
					rechargements d'éplages, dépôts de terre	1 511 843	50%	(5)
Total		17 682 854	5 783 988	33%				
Sources								
(1) BDREP								
(2) enquête INSEE déchets industriels non dangereux								
(3) BNPE								
(4) enquête "déchets de déblais du BTP"								
(5) enquête "dragage" du Cerema								

Tableau 1 : estimation des tonnages annuels (2022) des différents types de boues (source Sdes)

Les boues de STEU :

Production : la base de données de l'assainissement collectif, gérée par la DEB, dénombreait, fin 2025, 22 815 STEU traitant 15 millions de m³ d'eaux usées par jour (cf. Tableau 2). Leur production

²⁸ Une boue est considérée comme dangereuse si elle répond à la définition d'un déchet dangereux au sens de l'article R541-8 du code de l'environnement : « tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/98/ CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives », incluant par exemple la toxicité pour la santé humaine, l'écotoxicité, la corrosivité,... Cette qualification a peu de conséquences sur les informations et recommandations présentes dans ce rapport.

²⁹ https://www.enviroveille.com/public/fiches_pratiques/fiches-pratiques.html?cat_id=1&dossier_id=128836&fiche_id=109775

de boue (avant additifs) est de ~1,16 M t de matière sèche par an (soit~ 12,7 kg MS/an pour 1 EH). Parmi elles, les 1 364 STEU de plus de 10 000 EH représentent 6 % des effectifs mais 86 % des boues produites (ce taux monte à 96% pour les 4 030 STEU de plus de 2 000 EH). La répartition par bassins, par régions et par tranches nominales des effectifs de STEU et de la production annuelle de boues, est présentée de façon détaillée en annexe n°15. La production de boues de STEU est directement liée à la population des différents territoires, notamment à la taille des grandes agglomérations.

Tranche obligation	Effectifs de STEU	%	Capacité nominale en EH		Débit entrant en m3/j	%	Prod boues sans réactif (tMS/an)	%
< 200 EH	8 075	35%	1 045 352	1%	95 912	1%	1 541	0%
[200 ; 2 000 [EH	10 710	47%	8 260 751	8%	1 863 446	12%	42 550	4%
[2 000 ; 10 000 [EH	2 666	12%	13 196 006	12%	1 692 637	11%	121 748	10%
[10 000 ; 100 000 [EH	1 160	5%	34 656 078	33%	3 877 505	26%	351 430	30%
>= 100 000 EH	204	1%	49 422 668	46%	7 409 002	50%	645 581	56%
Total	22 815	100%	106 580 855	100%	14 938 502	100%	1 162 851	100%

Tableau 2 : répartition des effectifs de STEU, des capacités de traitement, des débits journaliers traités et de la production de boues selon les tranches nominales de STEU (source BdD Assainissement collectif)

Valorisation : le tonnage de boues de STEU valorisé par épandage agricole direct ou compostage est estimé entre 860 000 t MS/an et 1 200 000 t MS/an selon la source :

- 861 000 t MS/an selon la BdD des eaux résiduaires urbaines (BDERU), qui estime que 85 % des boues de STEU subissent un recyclage matière ou organique (épandage, compostage) ;
- 1 200 000 t MS/an selon la BdD de l'assainissement collectif (cf.

Production de boues par les STEU (Base de données Assainissement collectif - 2025)								
Production de boues sans réactifs (tMS/an)	Quantité de réactifs utilisés (t MS/an)	Production de boues (tMS/an)	Quantité en épandage agricole (tMS/an)	Quantité incinérée (tMS/an)	Quantité en compostage «produit» (tMS/an)	Quantité mise en décharge (tMS/an)	Quantité en valorisation industrielle (tMS/an)	Quantité envoyée vers autre STEU (tMS/an)
1 162 851	125 829	1 288 680	638 312	149 628	561 068	2 168	7 038	14 049
		100%	47%	11%	41%	0%	1%	1%

- Tableau 3) qui indique que la valorisation des boues se répartit en 47 % d'épandage agricole, 41 % de compostage, 11 % d'incinération.

Production de boues par les STEU (Base de données Assainissement collectif - 2025)								
Production de boues sans réactifs (tMS/an)	Quantité de réactifs utilisés (t MS/an)	Production de boues (tMS/an)	Quantité en épandage agricole (tMS/an)	Quantité incinérée (tMS/an)	Quantité en compostage «produit» (tMS/an)	Quantité mise en décharge (tMS/an)	Quantité en valorisation industrielle (tMS/an)	Quantité envoyée vers autre STEU (tMS/an)
1 162 851	125 829	1 288 680	638 312	149 628	561 068	2 168	7 038	14 049
		100%	47%	11%	41%	0%	1%	1%

Tableau 3 : valorisation des boues de STEU (source BdD Assainissement collectif)

Les boues d'ICPE :

Production : les données du service des données et études statistiques (SDES) fournissent une estimation des tonnages annuels de boues d'ICPE non dangereuses équivalente à 2,73 millions de tonnes. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

	Tonnes (supposé t MB)
Boues d'effluents industriels non dangereuses (hors traitement de déchet, industrie papetière, industrie alimentaire)	603 000
Boues non dangereuses provenant du traitement de déchets	165 000

Boues issues de l'industrie papetière	631 000
Boues issues des industries alimentaires	1 335 000
Total boues ICPE	2 734 000

Tableau 4 : tonnage annuel des différentes boues d'ICPE (SDES)

Cette estimation diffère très significativement de l'estimation de 0,25 Mt MS du Tableau 1. La mission fait l'hypothèse (qu'elle n'a pas pu confirmer faute de temps) que les données du SDES sont exprimées en tonnage brut (avec une siccité estimée à 10%).

La mission retient un tonnage annuel de boues d'ICPE non dangereuses de 0,25 Mt MS/an.

Valorisation : selon les données de la BDREP, 40% des boues industrielles non dangereuses (98 000 t MS) subissent un recyclage matière ou organique (épandage, compostage). Les données nationales (tableau n°5) indiquent quant à elles un taux de recyclage matière ou organique (épandage, compostage) bien plus élevé de 78%, soit un tonnage de 2,13 Mt (supposées t MB, équivalentes à 213 000 t MS).

La mission retient un tonnage d'épandage et compostage des boues d'ICPE de 0,15 Mt MS/an.

Production annuelle de boues des ICPE et destination (estimations)	Boues d'effluents industriels non dangereux (hors traitement de déchet, industrie papetière, industrie alimentaire)	Boues non dangereuses provenant du traitement de déchets	Boues issues de l'industrie papetière	Boues issues des industries alimentaires	Total (Kt/an)	Total (Kt/an)
Source d'information (compilation MTE/DGPR/Bureau des déchets)	SDES	SDES	fédération Copacel (déclarations Gerep)	SSP du MAASA (données INSEE)		
Année de référence	2022	2022	2024	2022	2022-2024	2022-2024
recyclage ou récupération de substances organiques (compostage, méthanisation,...)	156	88	286	1 296	972	2 128 78%
épandage	21	27	254		324	626 23%
incinération sans valorisation énergétique	201	3	80	10	10	294 11%
valorisation énergétique des boues	156	23		29	29	208 8%
mise en décharge des boues	69	24	11		-	104 4%
Total	603	165	631	1 335	1 335	2 734 100%
	22%	6%	23%	49%	49%	100%
Hypothèse de 75% recyclage 25% épandage pour les boues des industries alimentaires en "recyclage-épandage"						

Tableau 5 : destination des différentes boues d'ICPE (MTE-DGPR/ bureau des déchets)

Les digestats de méthaniseurs :

La France compte environ 1 800 installations de méthanisation de tailles et de flux d'intrants variés (industriels, de stations d'épuration, agricoles, etc.) (source ADEME 2025³⁰). Leur production annuelle de digestat est estimée à 1,1 Mt MS (~30 Mt MB). La quasi-totalité de ce digestat est valorisée par épandage agricole.

2.1.1.3. Synthèse sur les tonnages de MAFOR

La diversité des sources et l'hétérogénéité des méthodes de recueil de données conduisent à des estimations variables des quantités de MAFOR produites et valorisées par épandage agricole.

La mission retient les estimations 2025 de :

- 15 Mt MS/an d'effluents d'élevage collectés (hors effluents au champ), intégralement valorisés par épandage agricole³¹ ;

³⁰ https://www.biogaz-aura.fr/fileadmin/mediatheque_methanisation/Images/Publications/Etat_des_lieux_du_parce_d_installations_de_methanisation_au_1er_janvier_2025.pdf

³¹ La part des effluents d'élevage collectés valorisés par méthanisation n'a pas été évaluée

- 1,2 Mt MS/an de boues de STEU dont 1 Mt MS/an valorisés par épandage ou compostage ;
- 1.1 Mt MS/an de digestats de méthaniseurs, intégralement valorisés en épandage agricole ;
- 0,2 Mt MS/an de boues d'ICPE dont 0,15 Mt MS/an valorisés par épandage et compostage.

Le tonnage annuel de boues de STEU et ICPE valorisé par épandage agricole ou compostage est donc estimé à ~1,2 Mt MS/an. Il représente moins de 10 % du tonnage épandu d'effluents d'élevage collectés hors prairie (~15 Mt MS).

Un travail d'actualisation et de synthèse des données sur la production et la valorisation de MAFOR devrait impérativement être mené. Il devrait exploiter notamment le PKGC 2021 (enquête sur les pratiques culturales, SSP), les données du service des données et études statistiques (Sdes) et les données de la base de données du registre des émissions polluantes (BDREP³²) et de la base de données de l'assainissement collectif (DEB). Il devra par ailleurs porter sur les digestats de méthaniseurs valorisés par épandage agricole, voire sur les importations de MAFOR.

2.1.2. L'utilisation des MAFOR : enjeux et source de tension pour les différentes filières d'épandage

2.1.2.1. Principaux usages

France : des MAFOR non agricoles (composts urbains, boues d'épuration, vinasses, eaux de sucrerie et écumes de l'industrie betteravière) sont épandues sur 9 % des surfaces de grandes cultures et sur 1 % des surfaces de prairies. Le pourcentage plus faible pour les prairies est lié au fait que les prairies appartiennent généralement à des exploitations d'élevage qui épandent majoritairement les effluents produits par leurs animaux. Les cultures qui reçoivent le plus de MAFOR non agricoles sont la betterave et la pomme de terre. Ces deux cultures illustrent l'effort de bouclage des cycles au sein des filières : 50 % des surfaces de pommes de terre et 34 % des surfaces de betteraves sont fertilisées avec des MAFOR non agricoles issues des effluents de leurs industries respectives.

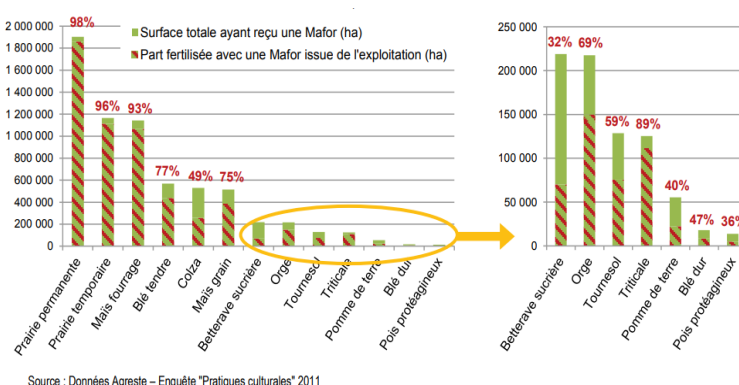


Figure 3 : part des MAFOR épandues sur les divers types de grandes cultures et de prairies selon leur provenance (Données Agreste – Enquête PKGC 2011)

Europe : face aux effets potentiellement antagonistes liés à l'épandage des boues (bénéfices agronomiques multiples des boues versus risques sanitaires associés), les réponses des États européens divergent, et la part des boues qui retourne au sol est très variable (incinération à 100% aux Pays Bas, recyclage agricole majoritaire au Portugal...) (cf. Figure 4).

³² Base de données du registre des émissions polluantes (<https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/directive-emissions-industrielles-ied-bref-mtd/donnees-registre>)

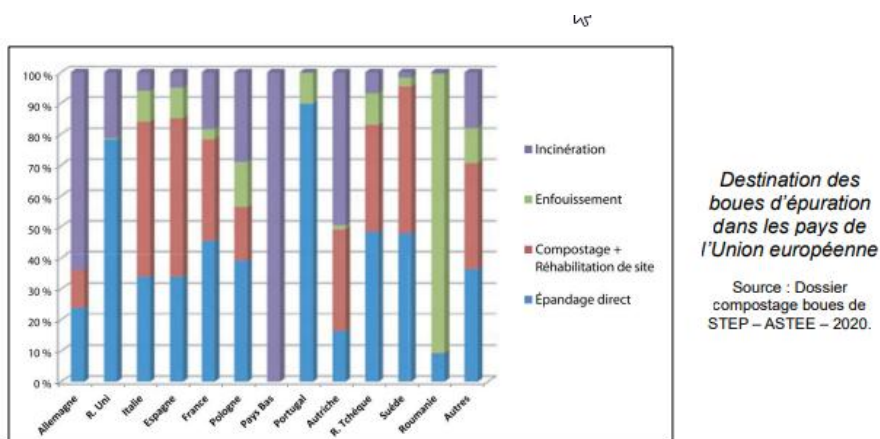


Figure 4 : destination des boues d'épuration dans différents pays de l'Union Européenne (ASTEE 2020)

La garantie de la qualité des boues et des contrôles associés constitue un élément fondamental de l'acceptabilité de l'épandage des boues d'épuration. Elle répond aux attentes sociétales croissantes en matière de sécurité sanitaire de la chaîne alimentaire et de la défiance générée par l'épandage de boues sur les sols agricoles, se concrétisant parfois par des « chartes » ou « labels ». Un fort niveau d'exigence quant à la teneur en contaminants et à la maîtrise de leur flux représente un atout, à la fois pour les consommateurs (risques sanitaires) et pour les agriculteurs (préservation du capital sol et accès aux marchés).

2.1.2.2. La diminution du gisement de MAFOR : enjeux et impacts

La diminution de l'élevage comme le renforcement du contrôle de la qualité des boues de stations d'épuration pourraient engendrer la suppression d'une partie des gisements de matières organiques résiduelles. Ceci ne devrait toutefois pas conduire les exploitations agricoles dans des impasses, car les engrais minéraux existent en grande quantité.

L'augmentation de la demande pourrait toutefois impacter le coût de ces engrais minéraux, accroître le déficit commercial de la France sur ce secteur et dégrader le bilan carbone, la production de ces engrais utilisant actuellement beaucoup d'énergie carbonée voire diminuer la souveraineté française dans un contexte international de plus en plus instable.

La concentration de la production des principales MAFOR au sein de territoires restreints (cf. chapitre 2.1.1.1.) se traduit par l'existence de zones où les quantités d'éléments fertilisants issus des MAFOR excèdent les besoins des productions végétales. En particulier, le déséquilibre de la distribution géographique de l'élevage conduit à l'existence de zones excédentaires en effluents d'élevage par rapport aux surfaces agricoles et aux besoins des cultures pouvant les valoriser (zones d'excédents structurels ZES), et d'autres zones déficitaires. Ainsi, dans les zones d'excédents structurels définies par la directive "Nitrates", les producteurs d'effluents d'élevage sont soumis à l'obligation d'exporter ou d'éliminer l'azote excédentaire que ces effluents contiennent. A l'inverse, il existe des zones sans élevage, où les ressources en MAFOR se limitent aux MAFOR d'origine urbaine et/ou industrielle, beaucoup moins abondantes. Cette hétérogénéité aboutit à une situation paradoxale, caractérisée par l'élimination de la ressource en azote organique dans les zones excédentaires (traitement biologique de 24% des lisiers en Bretagne et 10% de l'azote total éliminé par dénitrification) et le recours aux engrais minéraux dans les zones sans ressources en MAFOR.

2.1.3. Matières minérales

La production d'engrais minéraux et organiques en France en 2023 était de 17,8 Mt, dont 7 Mt (UNIFA 2024) d'engrais minéraux (production totale hors boues, hors effluents élevages). La tendance générale est à la baisse des livraisons d'engrais depuis années, qui s'explique en partie par l'amélioration des pratiques et des usages (optimisation de l'assolement, zones d'élevage moins demandeuses), mais aussi par l'influence du prix des matières premières en augmentation, très lié à la géopolitique. Sur 2010-2023, la part des engrais minéraux dans cette production est passée de 52% à 36% (UNIFA 2024).

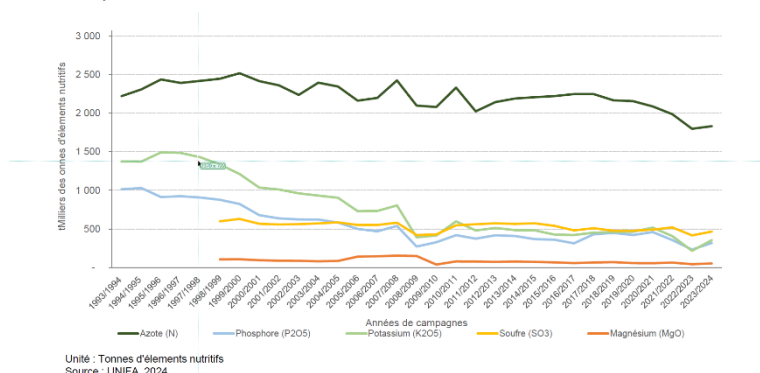


Figure 5 : évolution des livraisons des engrais minéraux en France métropolitaine, en tonnes d'éléments nutritifs (Source UNIFA 2024)

La production d'engrais minéraux en Europe est faible et est complètement dépendante des pays tiers pour le gaz, la potasse. Dans un marché mondialisé, il n'y a pas - en dehors des périodes de fortes tensions géopolitiques comme celle prévalant depuis le 28 février 2026 - de tension sur l'approvisionnement quantitatif en matières premières nécessaires à la production de ces engrais.

2.2. Connaissances sur les niveaux de contamination en PFAS

2.2.1. Métrologie des PFAS dans les MFSC

Quelle que soit la matrice dans laquelle ils sont recherchés, les PFAS ont un comportement singulier au regard de celui des autres familles de contaminants habituellement analysées. Plusieurs facteurs sont sources de difficultés métrologiques notables : le nombre important de composés de cette « famille », leurs transformations au fil de certains processus, leurs propriétés physico-chimiques particulières à la fois hydrophobes et hydrophiles selon le composé, la modification de leurs comportements selon la charge de matière organique de la matrice, le risque de contamination au cours des analyses (cf. 2.2.1.3), ainsi que l'impossibilité d'identifier le PFAS, pour un PFAS de chaîne courte, le PFAS de chaîne longue qui l'a généré.

Ces difficultés inhérentes aux PFAS se trouvent accrues par la grande diversité des produits répondant à la définition des MFSC (cf 1.2.1.), de caractéristiques physico-chimiques extrêmement variables (structure et texture de la matrice, teneur en eau, teneur en matière organique, etc.).

Les éléments détaillés ci-après portent plus spécifiquement sur les enjeux métrologiques liés au prélèvement et à l'analyse des PFAS dans les boues, matières identifiées comme potentiellement à risque en raison de leurs concentrations parfois élevées en PFAS (cf. 2.2.2.).

2.2.1.1. Echantillonnage et prélèvement des MFSC pour l'analyse des PFAS

Echantillonnage et prélèvement des boues : Les boues peuvent être prélevées en différents points d'une station de traitement (cf. Figure 6). Une boue brute liquide prélevée après décantation en sortie de la file « eau » (point A6) n'aura pas les mêmes caractéristiques, et la même teneur en

PFAS, qu'une boue traitée et déshydratée (point S6). En effet, à quantité de matière sèche constante, le processus de déshydratation aura retiré une partie de la phase aqueuse avec les PFAS qu'elle contient, conduisant à des teneurs ($\mu\text{g}/\text{kg MS}$) généralement moins élevées en point S6 qu'en point A6, et potentiellement très différentes (division par 3 à 10, voire plus pour les PFAS à chaîne courte). Afin de permettre des analyses et comparaisons fiables, il est donc essentiel, d'une part, de préciser la nature, la localisation de prélèvement et la siccité de l'échantillon de boue ; d'autre part, d'adapter en conséquence les protocoles d'échantillonnage et de prélèvement.

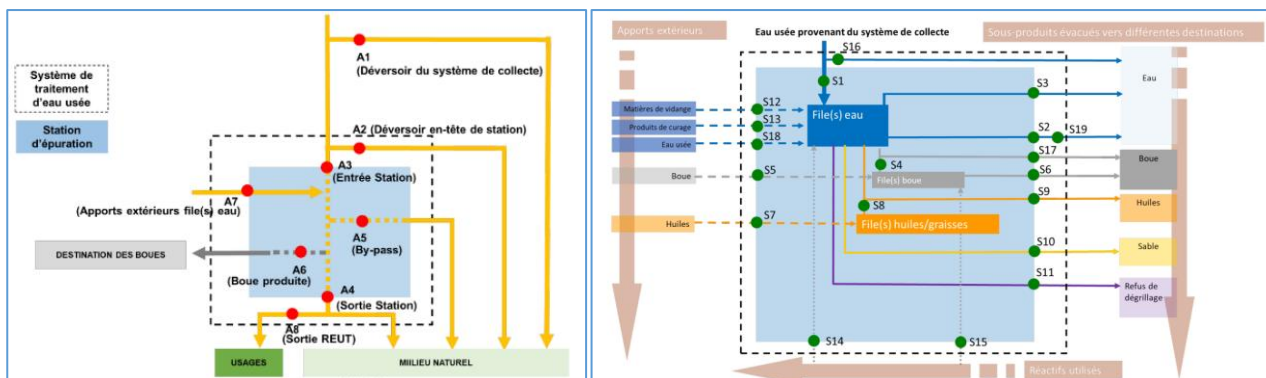


Figure 6 : synoptiques d'une station de traitement des eaux usées : (gauche) points réglementaires ; (droite) points logiques – (source SANDRE)

Plusieurs normes et instructions encadrent les pratiques de prélèvement et échantillonnage des boues :

- la norme **NF U 44-108 (1982)** s'applique spécifiquement aux boues liquides issues de stations d'épuration urbaines et fournit des directives en matière de techniques de prélèvement et d'échantillonnage ;
- l'**arrêté du 8 janvier 1998** fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles décrit dans son annexe V les méthodes d'échantillonnage pour les boues liquides d'une part, et pour les boues pâteuses ou solides d'autres part ;
- enfin, une norme plus récente **ISO 5667-13 (2011)**, révisée en 2021, fixe les lignes directrices relatives aux techniques d'échantillonnage et à la conception de programmes d'échantillonnage pour différents types de boues.

Le laboratoire AQUAREF, laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques, est chargé par le MTE de rédiger une note technique d'accompagnement à la réalisation des prélèvements de boues. Cette instruction synthétisera les recommandations concernant les modalités d'échantillonnage et de prélèvements, et précisera les références normatives dans l'attente d'une norme européenne.

Echantillonnage et prélèvement des MFSC autres que les boues :

- la norme **NF EN 12579 (2024)** décrit les méthodes d'échantillonnage et les principes à prendre en compte pour prélever des échantillons d'amendements organiques et de supports de culture ;
- une **instruction technique du 18 août 2025 de la DGAL** propose à ses services déconcentrés un protocole d'échantillonnage basé entre autres sur cette norme, applicable à différentes MFSC tels que les engrais liquides, les engrais sous forme de granulés, les digestats (cf. annexe n°9).

2.2.1.2. Méthodes d'analyse des échantillons (préparation, extraction, mesure)

L'ensemble des acteurs contactés par la mission exprime le besoin d'un cadre normatif fixant des méthodes robustes et performantes d'analyse des PFAS dans les échantillons de boue³³, permettant

³³ L'analyse des mesures de teneur en PFAS des boues de stations d'épuration réalisées dans le cadre du RSDE 2022 sur le bassin Loire Bretagne (cf. 2.2.2) montre des écarts statistiques parfois très significatifs entre laboratoires d'analyse (facteur supérieur à 10 entre les médianes) ce qui fragilise l'interprétation qui peut être faite de ces données.

d'harmoniser les pratiques, de comparer et interpréter les résultats.

Plusieurs approches analytiques ont été développées : méthodes ciblées, méthodes non ciblées, méthodes globales. A ce jour, il n'existe pas de norme validée en Europe ou en France pour l'analyse des PFAS dans les MFSC, ni de laboratoires accrédités en France. De ce fait, les laboratoires utilisent des méthodes internes et de nombreux paramètres de ces méthodes, indispensables à l'évaluation d'ensemble de la performance analytique, s'avèrent très hétérogènes d'un laboratoire à l'autre : modalités d'extraction, limites de quantification, incertitude de mesure analytique, etc. Des écarts manifestes existent notamment dans l'analyse des boues liquides et solides, avec des incertitudes de mesure plus élevées pour les boues liquides (annexe n°19).

Les méthodes globales, qui consistent à évaluer la teneur en fluor organique total des échantillons, ne peuvent pas, à elles seules, fonder la prise de décision face à une pollution supposée ou avérée par les PFAS. Elles apportent toutefois des informations complémentaires utiles sur la contamination fluorée des milieux, et méritent donc de compléter les approches ciblées « classiques » plus sensibles et spécifiques des PFAS.

Une norme ISO (ISO/DIS 25652 Sédiments, sol, boues et déchets — Analyse des PFAS par CLHP et spectrométrie de masse) est en voie de finalisation au moment de la rédaction du présent rapport. Sa publication est attendue pour fin 2026.

Elle permettra de répondre aux enjeux d'harmonisation des méthodes analytiques pour :

- la matrice boues ainsi que pour les matrices sols et sédiments ;
- les substances listées dans son domaine d'application (une cinquantaine de PFAS).

Le BRGM a publié en octobre 2024 une note de synthèse sur ce projet de norme³⁴.

La publication de cette norme internationale facilitera l'organisation d'essais inter-laboratoires et *in fine* les demandes d'accréditation des laboratoires. Son contenu est connu et peut d'ores et déjà être utilisé par les laboratoires qui le souhaitent.

2.2.1.3. Risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions

La plupart des références bibliographiques consultées insistent sur la nécessité de porter une attention particulière au risque de contaminations accidentelles des échantillons, depuis leur prélèvement jusqu'à leur analyse au laboratoire, risque lié au caractère ubiquiste des PFAS. Il ressort des entretiens de la mission que la remise en cause systématique de mesures fournissant des valeurs élevées par le seul argument d'une contamination accidentelle hypothétique lors du prélèvement n'est pas légitime (annexe n°18).

2.2.2. Niveaux de contamination en PFAS des différentes MFSC : données françaises disponibles

A l'heure actuelle, peu de données structurées existent sur le niveau de contamination PFAS des boues de stations d'épuration en France. Ce chapitre présente l'état des connaissances en s'appuyant sur l'analyse des principaux jeux de données disponibles (2.2.2.2 et 2.2.2.3) et des sources bibliographiques (2.2.2.4). Dans le cadre de l'action 6 de l'axe 2 du plan d'action interministériel sur les PFAS, une campagne prospective de surveillance de la contamination des boues par les PFAS sera mise en œuvre en 2026 par application d'un arrêté ministériel en projet.

³⁴ https://ssp-infoterre.brgm.fr/sites/default/files/documents/2024-10/BRGM-RP-73936-FR_note-PFAS.pdf

2.2.2.1. Teneurs en PFAS des boues de STEU urbaines

L'absence d'un dispositif réglementaire imposant à l'échelle nationale le suivi des teneurs en PFAS des boues de STEU a deux conséquences :

- aucune connaissance stabilisée des teneurs en PFAS des boues de STEU en France n'est disponible à ce jour. Les éléments de connaissance actuels résultent d'initiatives locales (ex. mesures réalisées dans le cadre de la recherche et de la réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux (dispositif RSDE) dont les données sont publiques, autocontrôles par certains exploitants de STEU dont les données sont privées...);
- les laboratoires d'analyse hésitent à investir dans le développement de méthodes spécifiques à la mesure des teneurs en PFAS dans les boues, tant que les perspectives de marché résultant d'un cadre réglementaire ne sont pas clarifiées.

A ce jour, trois sources d'information peuvent être exploitées :

- les mesures de teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 EH³⁵, réalisées dans le cadre du RSDE 2022 sur le bassin Loire Bretagne, en application d'une disposition du SDAGE : le guide d'instruction de l'agence de l'eau n'impose pas le point de prélèvement ;
- les mesures réalisées dans le cadre d'autocontrôles menés par les exploitants de STEU ;
- les mesures réalisées dans le cadre de travaux scientifiques de l'INRAE.

Nous exposons ci-dessous une présentation synthétique des mesures réalisées dans le cadre du RSDE Loire Bretagne 2022, jeu de données publiques le plus complet à ce jour en France, après une clarification des points de prélèvements de boues dans les STEU.

2.2.2.2. Analyse des PFAS dans les boues du RSDE Loire Bretagne 2022

Lors de la campagne RSDE Loire-Bretagne 2022³⁶, l'Agence de l'Eau LB (AELB) a demandé aux maîtres d'ouvrage de STEU de plus de 10 000 EH³⁷ de réaliser des mesures de teneurs en PFAS des boues en complément des mesures de teneurs en PFAS des rejets aqueux, ceci en application de la disposition 5B3 du SDAGE Loire Bretagne 2022-2027³⁸ (cf. 1.1.3.3).

Cette campagne RSDE 2022 a permis de rassembler, à ce jour³⁹, des mesures de teneurs en PFAS des boues de STEU sur 332 échantillons de boues issus de 52 STEU (dont trois STEU qui ont opéré des prélèvements de boues en deux points, soit 55 STEU virtuelles). De façon générale, chaque STEU a procédé à six prélèvements de boues à des périodes différentes sur la période 2022-2024. Ces prélèvements ont été réalisés, soit en sortie de la file eau (points A6 ou S4), soit en sortie du processus de traitement et déshydratation des boues (point S6) avant leur envoi à l'épandage (cf. figure 6). Chaque échantillon prélevé a fait l'objet de mesure des teneurs individuelles en cinq PFAS (PFOS, PFOA, PFDA, PFHxA, PFHxS).

L'analyse des valeurs de teneurs en PFAS des boues de STEU, détaillée en annexe n°8, du RSDE LB 2022 a conduit à identifier deux limites au jeu de données :

³⁵ Ainsi que quelques mesures réalisées sur le même bassin à l'initiative de l'Agence de l'eau sur des STEU de plus petite dimension

³⁶ Le RSDE 2016 avait déjà initié la recherche d'un PFAS (PFOS) dans les boues de 60 stations.

³⁷ Le Bassin Loire Bretagne compte 7 495 STEU, dont 267 STEU de plus de 10 000 EQ.HAB.

³⁸ L'Agence de l'eau conditionnait ses aides financières pour les analyses sur la file « Eau » à l'obligation de réaliser des analyses sur la file « Boues ».

³⁹ Les mesures de certaines STEU n'ont pas encore été téléchargées dans la base nationale RESEAU. Malgré des rappels par les DDT et un financement par l'AELB, la proportion de collectivité respectant les exigences du SDAGE reste faible.

- les analyses de teneurs en PFAS ont été menées par quatre laboratoires d'analyse différents (neuf couples organisme préleveur-laboratoire d'analyse). Après expertise conjointe entre la mission et l'AELB, les teneurs en PFAS produites par l'un des laboratoires d'analyse ont dû être écartées, ramenant le jeu de données à 164 échantillons de 24 STEU (dont 3 qui ont opéré des prélèvements de boues en deux points, soit 27 STEU virtuelles) ;
- parmi ces 164 échantillons, 48 échantillons de boue de neuf STEU ont été prélevés en S6 (boues traitées déshydratées prêtes à partir à l'épandage) et 116 échantillons de boue de 21 STEU ont été prélevés en A6-S4 (boues brutes liquides en sortie de file eau, avant traitement).

Les statistiques de teneurs en PFAS de ces 164 échantillons de boue de STEU sont présentées dans le tableau 6. Les quantiles 95% sont inférieurs à 10 µg/kg MS pour PFOA, PFHxA, PFDA et PFHxS mais de l'ordre de 97 µg/kg MS pour PFOS et de 115 µg/kg MS pour la somme des 5 PFAS.

RSDE Loire Bretagne 2022 - Teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 eq.hab. (tous points de prélèvement)						
PFAS Sandre	5347	5978	6509	6561	6830	
PFAS	PFOA	PFHxA	PFDA	PFOS	PFHxS	Somme5
nb mesures	150	140	149	123	150	153
nb STEU	27	27	27	28	27	27
max	580,0	41,0	59,0	126,0	74,0	705,0
95%	9,9	3,8	10,8	97,2	2,5	114,7
75%	2,5	2,5	5,0	21,9	2,5	31,8
50%	2,5	2,5	2,8	11,0	2,5	17,6
min	-	0,3	-	-	0,1	1,0
nb. Mesures > 40 µg/kg MS						25
nb STEU présentant un dépassement de S5>40 µg/kg MS						10

Tableau 6 : teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 EH dans le cadre du RSDE 2022 LB : analyse statistique des valeurs pour chacun des cinq PFAS et pour la somme des cinq PFAS.

L'analyse plus détaillée a confirmé que les teneurs en PFAS des échantillons de boue prélevés en A6 et S4 étaient plus élevées que celles des échantillons prélevés en S6. Les deux jeux de données (A6-S4 d'une part et S6 d'autre part) ont donc été distingués. Afin d'évaluer comment les boues des STEU du RSDE LB 2022 se situent par rapport aux valeurs des réglementations de différents pays (cf. 3.), les valeurs mesurées ont été confrontées à ces seuils. Des taux virtuels de « non-conformité » en ont été déduits à titre indicatif. Il en résulte que le taux de non-conformité des échantillons de boues de STEU aux réglementations « PFAS dans les boues de STEU » de différents pays est inférieur à 2% pour les boues prêtes à l'épandage (prélevées en S6), à l'exception de la réglementation danoise pour laquelle le « taux de non-conformité » monte à 12%. Dans le cas des boues brutes liquides (prélevées en A6 ou S4) ce taux de non-conformité est de 25% (38% pour la réglementation danoise).

RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (tous points de prélèvt)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
A6-S4-S6	conformité indéterminée (nb ech.)	42	42	42	46	46	23
187 échant.	conformité déterminée (nb ech.)	145	145	145	141	141	164
34 STEU	non conforme (nb ech.)	24	28	24	20	42	31
	conforme (nb ech.)	121	117	121	121	99	133
	taux de non-conformité (%)	17%	19%	17%	14%	30%	19%
RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (prélèvement A6-S4, boues brutes liq.)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
A6-S4	conformité indéterminée (nb ech.)	37	37	37	41	41	23
139 échant.	conformité déterminée (nb ech.)	102	102	102	98	98	116
25 STEU	non conforme (nb ech.)	24	28	24	20	37	30
	conforme (nb ech.)	78	74	78	78	61	86
	taux de non-conformité (%)	24%	27%	24%	20%	38%	26%
RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (prélèvement au point S6 après traitement)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
S6	conformité indéterminée (nb ech.)	5	5	5	5	5	0
48 échant.	conformité déterminée (nb ech.)	43	43	43	43	43	48
9 STEU	non conforme (nb ech.)	0	0	0	0	5	1
	conforme (nb ech.)	43	43	43	43	38	47
	taux de non-conformité (%)	0%	0%	0%	0%	12%	2%

Tableau 7 : confrontation des teneurs en PFAS des boues de STEU mesurées dans le cadre du RSDE LB 2022 aux seuils des réglementations de différents pays.

Il est important de souligner que ces résultats factuels ne reposent cependant que sur un échantillon limité de boues (48 échantillons traités déshydratés prélevés sur neuf STEU de plus de 10 000 EH du bassin Loire Bretagne) qui ne peut être considéré représentatif du bassin Loire Bretagne ni, à plus forte raison, du niveau national. Il est impératif d'élargir cet échantillon par une campagne nationale.

2.2.2.3. Les analyses PFAS dans les boues par les opérateurs de STEU

Les acteurs des filières « épuration des eaux urbaines » et « valorisation agricole des boues » ont mené des campagnes exploratoires sur les teneurs en PFAS des boues de leurs STEU. Leurs résultats sont internes et confidentiels, mais certains d'entre eux ont partagé avec la mission leurs analyses et des données rendues anonymes.

Ainsi, un opérateur majeur a mené une campagne exploratoire d'analyses de teneur en PFAS des boues sur 185 STEP, ces analyses étant réalisées par deux laboratoires, sélectionnés après des tests inter-laboratoires. La conformité des boues aux réglementations de différents pays a été analysée. Dans le cas de la comparaison à la réglementation belge-wallonne, les taux de non-conformité obtenus sont inférieurs à 5 % pour les STEU de plus de 20 000 EH (échantillon de 161 STEU), et de l'ordre de 25 % pour les STEU de moins de 20 000 EH (échantillon de 24 STEU).

Les résultats obtenus par des exploitants sur 185 STEU (cf. 2.2.2.3) et par la mission et l'AE LB sur les 48 STEU du RSDE 2022 (cf. 2.2.2.2) sont pleinement cohérents entre eux.

2.2.2.4. Revue bibliographique des données françaises disponibles sur la contamination de toutes les MFSC

Les éléments qui suivent portent sur les données françaises de contamination des MFSC, hors données issues du RSDE ou du secteur privé portant sur les boues qui ont été analysées dans le paragraphe précédent.

Le suivi des PFAS dans les MFSC autres que les boues est nettement moins fourni dans la documentation scientifique. Dans une étude franco-canadienne (Munoz et al., 2022⁴⁰), les PFAS ont

⁴⁰ Target and nontarget screening of PFAS in biosolids, composts, and other organic waste products for land application in France. Rapport CGAAER n° 25101, IGEDD n° 016408-01

été caractérisés dans 47 produits organiques utilisés dans les zones agricoles en France, y compris des matériaux historiques et récents.

Il s'agit de produits provenant :

- de déchets urbains (boues d'épuration des stations d'épuration, compost de déchets verts et boues d'épuration, compost de biodéchets, compost de déchets urbains solides, digestat de déchets urbains) ;
- de déchets agricoles (fumier de vaches laitières, lisier de porcs, fumier de volailles, compost de fumier de bétail laitier, digestat provenant du fumier de porc) ;
- et de déchets industriels (boues de papier et cendres d'incinération).

Au total, 160 PFAS de 42 classes ont été détectés. Les teneurs des PFAS ciblées étaient faibles dans les matières d'origine agricole, tels que le lisier de porc, le fumier de volaille ou le fumier de bovins laitiers (médiane pour la somme de 46 PFAS : 0,66 µg/kg MS, concentration nettement inférieure au seuil restrictif fixé en Flandre de 15 µg/kg MS pour la somme des 20 PFAS de la directive EDCH).

Des niveaux plus élevés de PFAS ont été signalés dans les déchets urbains et industriels, les boues issues des papeteries, les boues d'épuration ou les composts des ordures ménagères (médiane pour la somme de 46 PFAS : 220 µg/kg MS, soit plus de 300 fois la teneur médiane observée dans les effluents d'élevage).

Quelle que soit l'unité géographique considérée, les concentrations de PFAS étaient nettement plus élevées dans les boues d'épuration et les déchets urbains compostés que dans les effluents d'élevage. Les acides perfluoroalkylés étaient les plus fréquemment détectés (PFOS et PFOA en tête), avec des profils similaires à ceux de produits équivalents analysés aux États-Unis.

D'autres études (Lazcano et al, 2020⁴¹) viennent confirmer que les concentrations de PFAS sont plus importantes dans les produits à base de boues comparativement à d'autres matières fertilisantes tels que les composts à base de déchets alimentaires et déchets verts ; ou encore que les composts de déchets issus d'emballages et de papiers sont plus contaminés que les composts contenant uniquement des déchets de jardin ou alimentaires (Costello et Lee, 2020⁴²).

A l'aune de ces travaux, les boues, les produits à base de boues et de déchets contenant notamment des résidus de papiers et cartons imperméabilisés apparaissent comme les matières les plus à risque quant à la présence de PFAS.

2.2.3. Contamination PFAS des compartiments associés

Maîtriser la contamination environnementale par les PFAS implique de quantifier les teneurs en PFAS rencontrées dans différents compartiments environnementaux (eaux de surface, eaux souterraines, sols, air, biotes, alimentation, humains), leur distribution spatiale et leur évolution temporelle. Les stratégies de suivi des contaminations PFAS de certains de ces compartiments (cf annexe n°15), potentiellement liées à la fertilisation, sont décrites ci-dessous.

Suivi de la contamination PFAS des sols : différents travaux scientifiques ont montré que les PFAS se concentraient principalement dans le sol superficiel (de l'ordre de 10 cm de profondeur) et que, hormis les cas de contaminations liés à des rejets industriels localisés, la principale source de

Environmental Science and Technology 2022 56. Munoz et al., 2022.

⁴¹ Characterizing and comparing per and polyfluoroalkyl substances in commercially available biosolid and organic non-biosolid-based products. Environ Sci Technol.2020. Lazcano et al, 2020.

⁴² Sources, fate, and plant uptake in agricultural systems of per-and polyfluoroalkyl substances. Current Pollution Reports 10. Costello et Lee, 2020.

PFAS dans les sols est liée aux fertilisants, principalement aux boues épandues, ainsi qu'aux produits phytosanitaires.

Certains pays (Danemark, Belgique, Suisse...) ont déjà mené des campagnes extensives de mesure des PFAS dans leurs sols, généralement avec le double objectif de déterminer des « valeurs de fond »⁴³ des teneurs en PFAS et d'identifier des zones où les sols ont des teneurs élevées. L'INERIS a publié en 2025 un rapport « Valeurs de fond des PFAS dans les sols européens et cadre de gestion des sols contaminés par les PFAS sur le territoire flamand »⁴⁴. Le Tableau 8, extrait de ce rapport, fournit les valeurs de fond (quantiles 50 % et 90-95 %) de trois PFAS dans des sols ruraux, issus de trois études (Flandre, Pays-Bas, Rhénanie nord-Westphalie).

	P50 (µg/kg)	P90 ou P95* (µg/kg)
PFOS	0,28 - 0,60	0,73 – 1,4
PFOA	0,26 - 0,47	0,42 – 1,9
PFBA	<0,1 [§] – 0,23	0,30 – 0,9

Tableau 8 : valeurs de fond des teneurs en PFAS des sols issus d'études belges, néerlandaises et allemandes (source rapport INERIS 2025 « Valeur de fond des PFAS dans les sols européens »)

En France, de tels travaux sont en cours de mise en place par le réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS) et le projet PFASol. Le RMQS est un outil de surveillance des sols à long terme, piloté par le GIS Sols⁴⁵. Il a pour missions de cartographier les propriétés des sols, de gérer une banque d'échantillons de sols, de tenir un tableau de bord de la qualité des sols et de détecter des évolutions de leur qualité. Il suit 2 240 sites répartis sur le territoire national, par périodes de 15 ans (RMQS1 2000-2015 ; RMQS2 2016-2030). Les PFAS font partie des enjeux émergents pour le RMQS. Plusieurs projets (projet INERIS, projet IPANEMA) ont été consacrés à des sols de sites industriels pollués par les PFAS, et visaient à mieux prévoir leur biodisponibilité et toxicité.

Le projet PFASol vise à réaliser un premier état des lieux des teneurs en PFAS des sols à l'échelle nationale. Ses objectifs scientifiques et techniques sont : (i) de tester et définir la profondeur de prélèvement des PFAS ; (ii) de fournir une première vision de la contamination PFAS diffuse des sols français à travers l'analyse des échantillons du RMQS et de proposer des premières valeurs de référence ; (iii) de rechercher les déterminants de la répartition des PFAS (ex : occupation du sol, intrants, position géographique par rapport à des industries) ; (iv) de valoriser les résultats, notamment en appui aux politiques publiques. Les produits finaux escomptés sont :

- un protocole de prélèvement rigoureux et reproductible (teneurs faibles) ;
- une connaissance des teneurs en PFAS des sols au niveau national ;
- la définition d'indicateurs de la pollution en PFAS (valeurs de fonds, valeurs de référence) ;
- une base de données des sols français pour environ 49 molécules de PFAS sur 170 sites.

Suivi de la contamination PFAS des rejets aqueux des STEU : l'arrêté du 3 septembre 2025 relatif à « l'analyse de substances PFAS dans les eaux en entrée et sortie de stations de traitement des eaux usées urbaines »⁴⁶, fixe les conditions d'une campagne de surveillance des substances PFAS pour les stations de traitement des eaux usées urbaines de capacité nominale supérieure ou égale à 10 000 EH. Les résultats de ces mesures sont versés dans la base nationale ROSEAU, qui

⁴³ La valeur de fond permet d'identifier l'impact d'une source (notamment ponctuelle) dans les milieux de vie, par rapport à la charge diffuse existante,

⁴⁴ <https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/Ineris-232891%20-%20Valeurs%20de%20fond%20PFAS%20et%20gestion%20flamande%20v2.pdf>

⁴⁵ <https://www.gissol.fr/le-gis/programmes/rmqqs-34>

⁴⁶ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000052201216>

recense les données de suivi des mises en conformité des ouvrages d'assainissement. Cette base est accessible via le portail d'information sur l'assainissement communal.

Suivi de la contamination PFAS des rejets aqueux des ICPE : l'arrêté ministériel du 20 juin 2023 relatif à « l'analyse des PFAS dans les rejets aqueux des ICPE » constitue la base réglementaire de la mesure des teneurs en PFAS dans les rejets aqueux des ICPE soumises à autorisation. Il prévoit trois campagnes d'analyses à réaliser selon un calendrier défini, impose une liste de PFAS (dont ceux visés par la Directive EDCH (cf. Tableau 9)) et concerne environ 5 000 installations industrielles.

Suivi de la contamination PFAS des eaux potables : La Directive EDCH est le texte fondamental qui encadre le suivi des eaux destinées à la consommation humaine. Elle introduit pour la première fois des limites pour les PFAS dans l'eau : somme de 20 PFAS < 0,10 µg/l ; somme de tous PFAS mesurables < 0,50 µg/l. Les États membres doivent surveiller ces substances et respecter ces seuils depuis janvier 2026 au plus tard. La directive est transposée dans le droit français via des décrets et arrêtés sur la qualité de l'eau potable et via l'intégration des PFAS dans les paramètres réglementaires :

- l'instruction DGS/EA4/2023/52 du 31 août 2023 a lancé une campagne nationale exploratoire sur les PFAS avec pour objectifs de mesurer la présence des PFAS dans les eaux brutes (ressources utilisées pour produire l'eau potable) et les eaux distribuées, et d'identifier les zones à risque ;
- l'instruction DGS/EA4/2025/22 du 19 février 2025 renforce la gestion sanitaire en précisant comment interpréter les résultats en PFAS et quelles actions prendre en cas de dépassement.

Lors de la campagne nationale exploratoire de l'ANSES (2023–2025⁴⁷), sur 627 échantillons d'eau du robinet analysés, neuf ont présenté des dépassements du seuil de 100 ng/l (~1,4% des échantillons). De façon générale, les PFAS ont été détectés dans la majorité des échantillons, mais sous le seuil réglementaire. Le taux moyen pour la somme de 20 PFAS en France s'établit à 0,023 µg/l. Sur 8 827 réseaux d'eau analysés, 24 ont présenté des dépassements de la norme.

L'absence d'observatoire systémique sur les contaminations en PFAS, regroupant l'ensemble de ces informations, est un frein à la mise en place d'une démarche collaborative et d'analyse des risques.

2.2.4. Des cas emblématiques de contamination par les PFAS des MFSC et de modes de gestion sur le territoire français

De manière systématique, les alertes sur les contaminations en PFAS sont issues d'analyses d'eau potable réalisées par les ARS. Elles ont été suivies de la mise en place de cellules de crise pilotées par le corps préfectoral et des procédures judiciaires ont été diligentées. Ces crises ont mis en lumière plusieurs points :

- la publication systématique sur portail internet de l'ensemble des informations connues, comme l'a réalisé la DREAL AURA, a participé fortement à apaiser les relations avec les acteurs des territoires ;
- lorsque la source de la pollution est identifiée et n'est pas reliée à un site industriel, elle est souvent en provenance d'une matière fertilisante, ce qui a conduit certains préfets à interdire l'épandage (boue de papeterie belge, boue de blanchisserie, ...) ;

⁴⁷ <https://www.anses.fr/system/files/LABORATOIRE2024-AST-0045.pdf>

- l'absence de normes en France, tant sur la mesure que sur les produits, concernant les PFAS dans les MFSC et l'impossibilité de tracer les importations de matières fragilisent les actes administratifs pris ;
- tous les acteurs sont très attentifs à la qualité de l'eau bue, à la qualité des aliments ingérés mais la question du support – le sol - est moins abordée ;
- les travaux nécessaires pour permettre de réalimenter la population en eau potable sont très importants et coûteux.

2.2.5. Que faire des boues contaminées ?

A ce jour, il n'existe que très peu de solutions pour gérer une boue qui présenterait des teneurs en PFAS n'autorisant plus son utilisation d'amendement agricole. Les solutions éprouvées visent soit la destruction des boues (incinération), soit leur valorisation hors production alimentaire (épandage forestier), soit leur traitement plus avancé (mélange de boues, méthanisation) en vue d'une valorisation partielle par épandage.

2.2.5.1. Incinération

Le seul traitement opérationnel permettant la destruction des PFAS est l'incinération des boues à très haute température, traitement également utilisable pour les lixiviats de méthaniseur nonobstant leur très faible siccité. Actuellement, les incinérateurs de déchets dangereux, qui sont conçus et exploités pour détruire toutes les substances dangereuses, garantissent des conditions propices à l'élimination des PFAS : températures élevées dans les fours d'incinération, temps de séjour suffisamment long, post-combustion des fumées, traitement des fumées ultra-performant. À ces très hautes températures (supérieures ou égales à 1300°C), la liaison carbone-fluor se brise et provoque la minéralisation des PFAS sous forme de CO₂ et de fluor. Ceux-ci sont ensuite captés lors du traitement des fumées ou stabilisés dans les résidus solides de la combustion. Ce n'est pas une transformation ou un déplacement : c'est une élimination définitive. Les résidus sont tout de même stockés en décharge de classe I. Cependant, la capacité et disponibilité actuelle du parc national d'incinérateurs à très haute température est limitée et ne permettrait pas, d'après les représentants de la profession (SYPRED et SYVED⁴⁸), d'absorber de nouveaux volumes importants sans construire de nouveaux fours. Il existe cependant un brevet qui permet d'éliminer les PFAS à plus basse température (inférieure à 1000°C) dans des fours non industriels moyennant quelques adaptations (société Véolia brevet n°23 02257 – annexe n°11). Cette solution constituerait une filière de traitement à moindre frais pour ces boues et permettrait de maintenir des fours dont les matières entrantes actuelles n'ont plus un PCI (pouvoir calorifique inférieur) suffisant, ce qui est un effet du tri à la source. Le rajout de boues contenant beaucoup de carbone (boues non conformes PFAS) permettrait d'augmenter la valeur du PCI du mélange et de continuer à incinérer la matière.

2.2.5.2. Foresterie

La dernière filière en croissance citée dans la littérature est la foresterie, notamment les taillis à courte rotation (TCR), ou bien l'usage par amendement sur des terrasses en ville. Les épandages génèrent un apport en matière organique important pour cette filière et doivent provenir de boues le moins liquides possible, afin de limiter le retour vers la nappe. Ils ne concernent pas les cultures à vocation alimentaire.

⁴⁸ SYPRED : Syndicat des professionnels du recyclage, de la valorisation, de la régénération et du traitement des déchets dangereux. SYVED : Syndicat de valorisation et d'élimination des déchets

2.2.5.3. Le mélange de boues pour déshydratation

Les échanges que les membres de la mission ont conduits avec certains prestataires privés semblent indiquer que le mélange de boues de plusieurs ouvrages d'épuration se généralise, notamment dans le cadre d'unités mutualisées de traitement et déshydratation.

L'objectif recherché par ces dispositifs est la rentabilisation des investissements de traitement-déshydratation et la possibilité d'épandre sur des terres plus éloignées du site de production. Les industriels anticipent aussi la mise en œuvre de la DERU2 (cf. 1.3.). L'autorisation de mélanger des boues résulte d'un assouplissement de la réglementation qui date de la période post Covid⁴⁹. Ce décret modifie les articles R. 211-29 et R. 211-30 du code de l'environnement pour autoriser le mélange de boues dès lors que chaque boue respecte les conditions réglementaires avant mélange, et que le mélange est conforme aux prescriptions techniques applicables à l'épandage sur sols agricoles. Ce mélange implique l'instruction de demandes d'autorisations préfectorales permettant aux systèmes d'assainissement concernés d'importer ou d'exporter de la boue, puis de demandes d'autorisations préfectorales relatives à l'épandage des boues mélangées. Donc, soit la STEU est neuve et ce processus est prévu dès la conception, soit les DDT(M) devront instruire de nombreux arrêtés modificatifs avec, pour certains dossiers, de nouvelles enquêtes publiques.

Ce processus technique implique que :

- les stations tiennent un registre de suivi des boues, avec les dates de prélèvement, les résultats des analyses, les dates d'évacuation des boues ;
- les siccités des différents lots de boues soient proches donc que :
 - o la STEU de grande capacité dispose d'un silo qui permette de mélanger les boues en amont de la filière d'épaississement,
 - o et que des analyses en PFAS dans les boues soient réalisées à différents points : en A6 (boue liquide produite par la station 1), en S6 (boue liquide évacuée par la station 1) puis en S6 de la station 2 (boue mélangée avant épandage).

Il existe cependant, à ce stade, une difficulté réglementaire. Le décret susvisé impose que, à chaque étape du mélange, la boue doit être conforme aux préconisations réglementaires pour l'épandage, ce qui n'est pas le cas. Toutefois, le préfet peut autoriser le regroupement de boues dans des unités d'entreposage ou de traitement communs, lorsque la composition de ces déchets répond aux conditions prévues aux articles R. 211-38 à R. 211-45 du code de l'environnement, qui renvoient elles-mêmes aux dispositions de l'arrêté ministériel de 1998 (caractéristiques des boues, distances d'épandages, périodes d'épandage, etc.). Cette architecture réglementaire n'est pas adaptée à la production de boues liquides contenant des PFAS qui peuvent devenir conformes aux normes, et donc épandables, après épaississement. Une modification du décret ou des deux arrêtés ministériels de 1998 (IOTA et ICPE), prenant en compte cette spécificité, est nécessaire.

2.2.5.4. La méthanisation

La digestion des boues par des méthaniseurs au sein des stations d'épuration se développe. Aucun PFAS n'est éliminé par le processus de méthanisation et la question de la contamination PFAS se reporte des boues aux digestats. Cette solution a toutefois l'avantage de diminuer fortement la quantité de matière contenant des PFAS à traiter et présente un fort potentiel de généralisation (cf. DERU2). Ces stations vont avoir aussi la capacité d'accueillir d'autres produits pour augmenter les

⁴⁹ Décret n° 2021-147 du 11 février 2021 relatif au mélange de boues issues de l'assainissement des eaux usées urbaines et à la rubrique 2.1.4.0 de la nomenclature des installations, ouvrages, travaux et activités soumises à la loi sur l'eau

capacités des méthaniseurs et produire une quantité importante d'énergie. Il faut prévoir un suivi de la qualité PFAS des digestats qui seraient destinés à l'épandage agricole, et une filière pour éliminer les digestats concentrés en PFAS, ce qui nécessitera de l'incinération après épaulement.

3. SYNTHÈSE DU PARANGONNAGE DE PAYS AYANT MIS EN PLACE UNE RÉGLEMENTATION

L'objectif du parangonnage est multiple :

- assurer une bonne connaissance des réglementations mises en place par certains pays sur les PFAS dans les matières fertilisantes en général, et dans les boues de STEU valorisées par épandage agricole en particulier (valeurs de référence, périmètre des substances PFAS prises en compte...);
- comprendre les logiques et processus qui ont guidé leur définition et leur mise en place ;
- recueillir les retours d'expérience sur les pratiques de gestion et les impacts de ces réglementations.

La lettre de commande mentionnait une première liste de pays cibles pour ce parangonnage : Autriche, Allemagne, Norvège, Suède, USA, Canada, Danemark, Belgique.

3.1. Processus ayant permis le parangonnage et ces limites

Au vu des délais contraints de la mission, trois voies de parangonnage ont été mobilisées en parallèle : un travail d'analyse approfondie de la bibliographie, des échanges officiels (en concertation avec la DG Trésor et la DAEI du MTE) avec les autorités et acteurs de ces réglementations dans certains pays (ministères chargés de l'environnement, ministères chargés de l'agriculture, agences, ...), quelques contacts directs, notamment avec des scientifiques de ces pays collaborant avec des scientifiques français.

En l'absence d'anticipation pour la présente mission, il n'était pas possible de procéder par la voie habituelle (questionnaire structuré établi par la mission et envoyé par les conseillers aux autorités compétentes dans les pays, puis entretiens sur la base des réponses de ces autorités – DG Trésor), ni d'approcher un grand nombre de pays. Il a donc été convenu, à la demande de la DG Trésor, de limiter à cinq le nombre de pays ciblés (Allemagne, Belgique, Canada, Danemark, Suède) et de s'appuyer sur une procédure légère, sans questionnaire : identification par les conseillers des ambassades des bons interlocuteurs et mise en contact avec les missionnés, entretiens de la mission avec ces interlocuteurs en présence des conseillers, analyse par la mission des informations recueillies et synthèse.

Parmi les autorités étrangères ainsi contactées dans des délais contraints, certaines ont pu être réactives en proposant des entretiens approfondis, notamment dans le cas de la Belgique et du Canada, quand les autres ont principalement communiqué des documents. Dans ces derniers cas, l'analyse bibliographique a été la principale source d'information et a également porté sur certains États des États-Unis. Le nombre limité de pays analysés et l'hétérogénéité des types de contacts (entretiens approfondis, entretiens légers, documents) constituent donc une limite de ce travail de parangonnage, mais le paysage ainsi dessiné illustre assez bien la diversité des situations, notamment en lien avec la pratique plus ou moins développée de valorisation agricole des boues de STEU.

Les résultats du parangonnage sont restitués sous deux formes :

- ce chapitre 3 qui présente une synthèse interpays, structurée par thèmes : les facteurs à l'origine de la mise en place d'une réglementation ; les valeurs réglementaires adoptées ; les logiques ayant piloté leur détermination ; le retour d'expérience sur la mise en œuvre de ces réglementations (mesures d'accompagnement, impacts sur les filières) ;
- six fiches-pays détaillées (cf. annexe 6), qui présentent la situation dans chacun des six pays et dans leurs provinces, régions ou Etats fédérés pour la Belgique (régions de la Flandre et de la Wallonie), le Canada (niveau fédéral et province du Québec) et les USA (États du Maine, du Michigan, du Connecticut).

3.2. Des points communs, malgré la diversité des contextes

D'une manière générale, cette étude montre que la régulation des PFAS dans les boues d'épuration, et plus globalement dans les MFSC, constitue encore un domaine émergent.

3.2.1. Des facteurs communs à l'origine d'une volonté de régulation

Plusieurs dynamiques convergentes expliquent l'encadrement croissant des PFAS dans les boues de stations d'épuration :

- la survenue de crises sanitaires et/ou environnementales médiatisées, ayant entraîné des attentes fortes en matière de transparence et de surveillance des boues. Citons par exemple la contamination d'exploitations laitières dans le Maine, la contamination d'origine industrielle en Flandre près d'Anvers, un épisode de contamination de l'eau potable à Ronneby en Suède, ou encore une pollution liée à l'usage de mousses anti-incendie à Korsør au Danemark ;
- la détection de contaminations PFAS suite à la mise en œuvre d'un encadrement dans les EDCH.

3.2.2. La préoccupation centrée sur les boues de stations d'épuration

Les boues sont perçues à la fois comme un levier d'économie circulaire (azote, phosphore, matière organique) mais aussi comme un vecteur potentiel de polluants persistants. Dans la majorité des pays étudiés, les boues de stations d'épuration concentrent l'attention des pouvoirs publics. Seule l'Allemagne réglemente les PFAS dans l'ensemble des produits fertilisants, par l'ordonnance générale sur les fertilisants (Düngemittelverordnung), complétée d'une ordonnance encadrant spécifiquement la valorisation et la gestion des boues issues des stations d'épuration (AbfklärV).

3.2.3. Certains composés PFAS systématiquement pris en compte

Les cadres de gestion de tous les pays prennent en compte *a minima* 2 composés incontournables : le PFOS et le PFOA (seul le Canada au niveau fédéral fait exception en la matière, en réglementant uniquement le PFOS). Les réglementations récentes tendent à élargir le spectre en prenant en compte des sommes de composés.

3.2.4. Caractérisation et traçabilité des boues sont des enjeux majeurs

L'introduction d'une régulation normative ou réglementaire est généralement associée à des exigences accrues, d'une part, en matière de surveillance et d'analyses régulières et, d'autre part, en matière de recherche et de réduction des sources de contamination. La traçabilité des boues

devient un outil central, non seulement pour prévenir les transferts de pollution, mais aussi pour apporter les garanties nécessaires à la restauration de la confiance.

3.2.5. Des taux de non-conformité faibles face aux réglementations

Dans la plupart des pays ayant suivi le taux de non conformités des boues aux seuils établis, ce taux semble être resté à des niveaux acceptables (de l'ordre de 5 %). La seule exception majeure est le Maine (USA) qui a imposé des normes extrêmement strictes et a dû en conséquence gérer une masse importante de boues non conformes (cf. point 3.6).

3.3. Les composés PFAS retenus dans les cadres de gestion

Le nombre de substances PFAS prises en compte par les différents pays pour gérer le risque de contamination des boues varie fortement de un à 22 composés, depuis des approches « minimalistes » centrées sur un ou deux composés (Canada fédéral, Allemagne, Michigan) jusqu'à des approches élargies intégrant des sommes de plus de 20 composés (Belgique, Danemark, Suède, USA-Maine et Connecticut).

Le Tableau 9 récapitule les substances PFAS encadrées dans les boues de stations d'épuration selon les pays et les seuils associés, ainsi que les valeurs de référence dans les sols lorsqu'elles existent.

On remarque ainsi des constantes, lorsque les pays choisissent de retenir des indicateurs « sommes de composés » :

- lorsqu'une somme de quatre composés PFAS fait l'objet d'une valeur seuil, il s'agit toujours des quatre composés réglementés dans les denrées alimentaires (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS) ;
- lorsque la somme des composés retenus est de 20 ou plus, elle englobe les PFAS ciblés dans la directive EDCH.

Le Québec fait un choix plus original, en réglementant une somme de 11 composés, dont cinq composés non retenus en Europe : le 5:3 FTCA, le 7:3 FTCA, le NMeFOSAA, le NEtFOSAA et le FHUEA.

3.4. L'élaboration des cadres de gestion

Les cadres de gestion de la contamination par les PFAS des boues de stations d'épuration diffèrent d'un pays à l'autre principalement sous deux angles :

- les axes structurant les cadres de gestion (quels paramètres sont encadrés ?) ;
- la démarche utilisée pour définir les valeurs seuil de ces paramètres.

3.4.1. Structure des cadres de gestion :

Selon leur niveau d'élaboration, les cadres de gestion sont structurés autour d'un à trois axes.

Le contrôle de la teneur en PFAS des sols : surveiller la teneur en PFAS des sols (par exemple tous les cinq ans) est un moyen de connaître leur état et de préserver leur qualité. Cela permet de fixer un seuil maximum au-delà duquel un sol ne pourrait plus recevoir de boues avec PFAS. Le Danemark, la Suède ou encore la Flandre ont introduit de telles valeurs considérées comme des objectifs cibles, sans toutefois qu'elles soient de nature réglementaire. Dans la pratique, la déclinaison opérationnelle de cet axe reste très limitée du fait de la connaissance encore fragmentaire des niveaux de contamination des sols. Si des programmes de mesure sont engagés par certains pays dans le but de déterminer des valeurs de fond (à l'instar du RMQS en France), le suivi opérationnel des sols recevant des boues n'est pas encore mis en œuvre.

La régulation des flux de PFAS à la parcelle : peu de pays régulent directement les flux de PFAS à la parcelle. Seule la Belgique-Flandre fixe de façon explicite, dans son cadre de gestion, un seuil maximum d'apport annuel de PFAS à la parcelle (30 mg/ha/an pour la somme de 20 PFAS). Certains territoires (Michigan, Québec) limitent indirectement l'apport de PFAS en gérant le couple « teneur en PFAS des boues » et « dose annuelle de boue autorisée à l'épandage », la seconde étant indexée à la première (notamment entre le seuil intermédiaire et le seuil maximal de teneur en PFAS des boues). Les autres pays s'en tiennent généralement à la réglementation nationale sur les apports annuels maximaux de boues autorisés, sans adaptation aux teneurs en PFAS. Le Gouvernement wallon a toutefois divisé par deux les doses maximales (6 tonnes/ha/an au lieu de 12) à la suite de la crise PFAS traversée en 2021.

L'encadrement de la teneur en PFAS des boues : c'est l'approche dominante, le plus souvent avec un seuil unique (seuil maximal) au-delà duquel l'épandage agricole des boues est interdit (Canada, Allemagne), parfois avec deux seuils : un seuil intermédiaire et un seuil maximal qui permettent une gestion par paliers (Québec, Michigan). Dans ce dernier cas, en plus de l'interdiction au-delà du seuil maximal, le dépassement du seuil intermédiaire conduit à des restrictions d'usage et à des mesures de mitigation (dose limitée, interdiction sur cultures alimentaires, distances minimales fixées par rapport aux habitations, ...).

Le tableau ci-dessous présente les axes activés par les cadres de gestion des pays étudiés.

		Danemark	Suède	Belgique-Flandre	Belgique-Wallonie	Canada	Canada-Québec	USA-Maryland	USA-Michigan	Allemagne	USA-Maine
1 Teneur en PFAS des sols	Seuil max cible	X	X								
	Seuil max limite réglementaire										
2 Flux annuel de PFAS	Flux de PFAS			X							
	Quantité de boue	X		X	X		X	X	X		
3 Teneur en PFAS des boues	Seuil max	X	X	X	X	X					X
	Seuil intermédiaire / Seuil max						X	X	X	X	

Tableau 10 : axes de gestion activés par les réglementations des pays objets du parangonnage

3.4.2. Typologie des démarches :

L'élaboration des cadres de gestion s'appuie sur quatre grands types de démarches.

***Démarche pragmatique basée sur l'analyse des données nationales disponibles :** cette démarche consiste à compiler des campagnes nationales de mesure de contamination des boues, en faire l'analyse et fixer des seuils en conséquence⁵⁰. Elle présente plusieurs avantages car elle :

- est simple à mettre en œuvre (campagnes de mesure) et à expliquer ;
- traite en priorité les cas extrêmes, plus susceptibles de causer des situations critiques ;
- passe un signal fort sur la nécessité de baisser les teneurs en PFAS des boues ;
- permet de choisir l'intensité de l'effort (ex : « taux de rejet » de 5 % des boues) et d'anticiper l'impact sur les filières de valorisation des boues ;
- peut être reconduite après cinq ans, en fixant de nouveaux seuils plus bas.

Elle présente toutefois la limite de n'être pas directement liée aux enjeux de santé humaine et environnementale. Le niveau de l'effort n'est pas ajusté en fonction d'objectifs cibles de teneur en PFAS des sols, des eaux, de la production agricole. De ce fait, l'effort peut s'avérer insuffisant, ou à l'inverse disproportionné, pour atteindre des objectifs de préservation.

Cette démarche pragmatique peut constituer une première étape pertinente, de mise en œuvre rapide, pour introduire un premier cadre de gestion dans l'attente d'objectifs cibles de teneur en PFAS des sols, des eaux et de la production agricole, et de moyens d'atteindre ces objectifs. Plusieurs exemples étrangers (Belgique-Wallonie, USA-Michigan, Canada-Québec, Suède, Allemagne) témoignent de la mise en œuvre cette démarche pragmatique basée sur les données pour établir leurs valeurs seuils.

Wallonie : deux audits successifs réalisés en 2024, sur plus de 200 échantillons de boues, ont permis de caractériser les PFAS réellement détectés. Les valeurs cibles (40 et 400 µg/kg MS pour $\Sigma 6$ PFAS et $\Sigma 22$ PFAS) ont été définies sur cette base, montrant un faible taux de dépassement.

Michigan : l'État a préalablement exploité les données issues de 42 stations d'épuration avant d'opter pour une approche par paliers comprenant trois classes de gestion (un seuil intermédiaire et un seuil maximal pour le PFOS ou le PFOA).

Québec : la définition des seuils (PFOS, PFOA et $\Sigma 11$ PFAS) repose sur l'analyse de 181 échantillons. L'objectif était d'obtenir un cadre protecteur tout en maintenant la valorisation agricole des boues. Les autorités ont évalué le taux de non-conformité potentiel avant d'arrêter des seuils à deux niveaux (intermédiaire et maximal).

→France : Pour mettre en œuvre cette démarche en France, il serait nécessaire d'organiser une campagne nationale structurée de mesure des teneurs en PFAS des boues de STEU, des boues et digestats d'ICPE, s'appuyant sur un protocole métrologique préalablement validé.

***Démarche pragmatique d'alignement sur les réglementations des pays voisins :** cette démarche consiste à adopter les éléments de réglementation des pays voisins. Elle peut être justifiée par l'urgence de stopper des flux de boues importées de pays limitrophes⁵¹, ou bien plus simplement par l'urgence d'introduire rapidement des éléments de réglementation en l'absence de données nationales suffisamment solides pour mener la démarche précédente. Elle a été mise en place au Canada au niveau fédéral.

Canada : le seuil provisoire de 50 µg/kg MS pour le PFOS, directement inspiré de la réglementation

⁵⁰ Fixer un seuil à la valeur du quantile 95 % revient à écarter 5 % de boues de teneurs en PFAS les plus élevées.

⁵¹ Boues devenues non conformes dans ces pays suite à l'introduction d'une nouvelle réglementation.

du Michigan, a été adopté par le Canada au niveau fédéral afin d'empêcher l'importation de biosolides devenus non conformes aux règles de certains États (notamment après l'interdiction du Maine en 2022).

* **Démarche scientifique fondée sur des modèles et des valeurs cibles** : cette démarche repose sur la compréhension et la modélisation du devenir des PFAS apportés au champ à travers l'épandage de boues : accumulation dans le sol, transfert vers les eaux de surface, transfert vers les eaux souterraines, transfert vers la production végétale, dégradation... Les simulations à l'aide des modèles permettent, selon les objectifs de teneur en PFAS des compartiments, de quantifier les apports acceptables de PFAS via les matières fertilisantes et de fixer des valeurs seuils.

Les modèles présentent différents niveaux de sophistication (processus pris en compte) et d'hypothèses simplificatrices. Les valeurs des cibles sont généralement issues de la réglementation en vigueur (pour les sols, il peut s'agir d'un enrichissement en PFAS que l'on s'autorise par rapport à une valeur de fond des teneurs en PFAS dans ce compartiment).

Une telle démarche scientifique a été mise en place dans plusieurs pays : Canada-Québec, Belgique-Flandre, Danemark.

Québec : les seuils sont déterminés en modélisant l'accumulation de PFAS dans le sol sur 25 ans, en supposant un sol initialement non contaminé et en fixant un niveau maximal d'enrichissement admissible. L'approche est comparable à celle utilisée pour les métaux.

Flandre : le modèle développé par l'Institut de recherche VITO simule l'enrichissement des 30 premiers centimètres du sol sur 100 ans, en tenant compte du lessivage et d'un apport annuel défini. Des valeurs cibles des sols pour deux composés (1,5 µg/kg pour PFOS, 1 µg/kg pour PFOA) servent de base pour déterminer la concentration admissible dans les déchets utilisés en tant qu'amendements et engrais (15 µg/kg MS pour 20 PFAS).

Danemark : les seuils définitifs de 2024 (10 µg/kg MS pour $\Sigma 4$ PFAS et 50 µg/kg MS pour $\Sigma 22$ PFAS) résultent d'un travail scientifique visant à assurer la compatibilité avec les critères de qualité des sols, des eaux souterraines et de la chaîne alimentaire.

→ *France* : l'INRAE, entre autres acteurs, possède à la fois l'expertise pour de tels travaux de modélisation des dynamiques de contaminants dans les sols et une connaissance des teneurs en PFAS des sols (réseau RMQS). Il pourrait le cas échéant coordonner une telle démarche.

***Démarche de précaution maximale, interdisant l'épandage de boues** : dans certains cas extrêmes, des pays ont été amenés à prendre des décisions radicales, interdisant tout apport de PFAS sur les terres agricoles. Cela revient à ne permettre l'épandage que de boues dans lesquelles aucun PFAS n'a été détecté.

USA-Maine et Connecticut : le Maine et le Connecticut ont adopté une telle interdiction des boues dans lesquelles sont détectés des PFAS. Par exemple, le Maine interdit depuis 2022 l'épandage de biosolides de teneur totale en PFAS dépassant 1 µg/kg MS, soit une interdiction *de facto*.

Europe : la Suisse et les Pays-Bas ont interdit, indépendamment des PFAS, l'épandage de boues de STEU depuis 2000. L'Allemagne, dans le cadre de sa révision de la réglementation des fertilisants, a annoncé la suppression progressive de l'épandage de boues d'épuration sur terres agricoles, avec une interdiction complète prévue d'ici à 2029. Ceci le conduit à développer un autre modèle notamment l'extraction du phosphore des boues pour en faire un nouveau produit.

3.5. D'incitatifs à réglementaires, des cadres de gestion à portée variable

Les cadres de gestion présentent des natures de contraintes hétérogènes d'un pays à l'autre, depuis des cadres à dominante incitative jusqu'à des cadres strictement réglementaires, en passant par des démarches de certification volontaire à l'initiative des producteurs de boues.

Les cadres à portée réglementaire émergent souvent comme des réponses à des situations de crise autour de pollutions par les PFAS. Les cadres incitatifs ou volontaires émergent plus souvent en écho à une prise de conscience des enjeux, constituant à la fois un signal de mobilisation des acteurs et une étape intermédiaire laissant le temps de définir une réglementation adaptée.

Nature des seuils fixés	Pays
Cadre réglementaire strict	Allemagne, Canada fédéral, Canada-Québec, USA-Maine
Valeurs « guides », « indicatives », « de référence »	Belgique (Wallonie et Flandre), Danemark
Certification volontaire	Suède (REVAQ)

Tableau 11 : nature des seuils (réglementaires, incitatifs, volontaires) introduits dans les cadres de gestion des pays objets du parangonnage

Suède : les autorités suédoises, très actives dans la réglementation PFAS de l'eau potable, n'ont pas fixé de cadre réglementaire PFAS pour les boues valorisées par épandage agricole (60 % des boues). Elles ont mandaté le Swedish Geotechnical Institute (SGI) pour élaborer des « valeurs guides préliminaires » pour les PFAS dans les sols et les eaux souterraines. En l'absence de limites légales, les acteurs de la filière boues de stations d'épuration se sont dotés d'une certification (REVAQ) qui fixe des valeurs cibles PFAS pour les boues (~7,5 µg/kg MS pour quatre PFAS ; ~25 µg/kg MS pour 22 PFAS), limites contraignantes pour la certification.

3.6. Impacts et mesures d'accompagnement : un recul insuffisant

À l'exception de l'Allemagne (2012), l'introduction de cadres de gestion de la contamination PFAS des boues de stations d'épuration est postérieure à 2020 (cf. frise temporelle Figure 7). Le processus général est celui d'une crise sanitaire déclenchant une prise de conscience de la problématique PFAS dans les eaux. Les premières réponses prennent la forme de campagnes de mesure, d'une réglementation sur les eaux potables puis, dans un second temps, sur les boues.

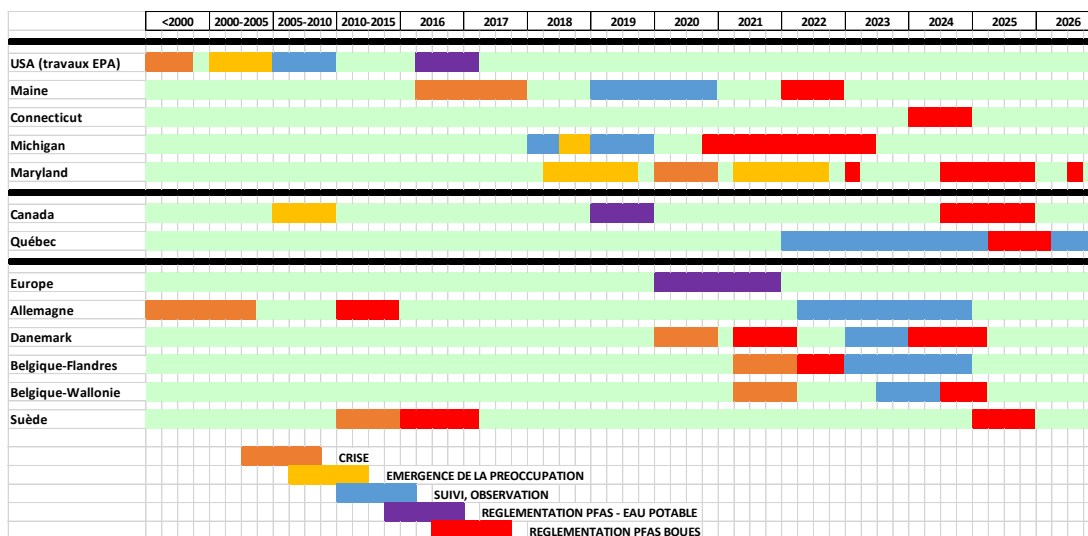


Figure 7 : frise temporelle de la mise en œuvre de cadres de gestion des PFAS dans les boues, dans les pays objets du parangonnage (cf annexe 17 pour une frise plus détaillée)

Impacts généraux : les cadres de gestion de la contamination PFAS des boues d'épuration datant de 2020, la plupart des pays manquent de recul et de données pour évaluer objectivement leur impact sur les filières de valorisation des boues.

Le Maine et le Connecticut ont tous deux interdit (respectivement en 2022 et 2024) la vente ou l'utilisation comme amendement de sol de tout biosolide⁵² contenant des PFAS. Dans le Maine, les boues ont été envoyées à l'enfouissement ou traitées (incinération) avec une hausse significative des coûts de traitement pour les maîtres d'ouvrage (doublement des coûts pour la ville de Bangor) et une réduction rapide de la capacité des décharges, entraînant des surcoûts à moyen terme. Dans le Connecticut, où l'épandage des boues était moins pratiqué, l'impact a été plus progressif (stockage, transport hors État, incinération), mais des sites de compostage de boues municipales ont dû stopper leur activité.

En Europe, le niveau d'exigence sur les teneurs en PFAS des boues est influencé par le poids de l'épandage par rapport à l'incinération. Par exemple, dans le cas de la Belgique, les valeurs seuil de teneur en PFAS des boues sont plus basses en Flandre où le taux d'épandage des boues est de 10 % à 20 %, qu'en Wallonie où le taux d'épandage est de 50 % à 70 %. L'impact potentiel le plus direct signalé par les interlocuteurs de la mission est le risque d'une perte de confiance des agriculteurs dans la qualité des boues et, de ce fait, une plus grande difficulté à les valoriser (Belgique-Wallonie). Sous cet angle, l'introduction d'une réglementation est perçue comme un facteur de confiance ayant un effet bénéfique.

Taux de conformité des boues aux réglementations : les taux de non-conformité des boues aux réglementations PFAS nationales sont généralement très faibles.

Au Canada, selon les données fédérales, plus de 90 % des biosolides respectent la limite réglementaire PFAS, cette limite visant à empêcher l'entrée de produits très contaminés.

En Allemagne, une étude de 2024 de l'Agence fédérale allemande de l'environnement a rassemblé et analysé les données de 1 362 échantillons de boues de stations d'épuration destinées à être utilisées comme fertilisant. 99,9 % des boues analysées respectaient la limite de 100 µg/kg pour PFOS + PFOA, et étaient donc conformes à la réglementation allemande.

En Wallonie, deux campagnes de mesures réalisées en 2024 sur 218 échantillons de boues ont confirmé que 96 % des boues étaient conformes au cadre de gestion ($S_{22} < 40$ µg/kg MS).

Campagnes de mesure et réévaluation des seuils : plusieurs pays ont mis en place des programmes de suivi des teneurs en PFAS des boues, voire des sols ayant reçu des boues (Wallonie, Danemark), tant pour contrôler la mise en œuvre du cadre de gestion que pour mieux connaître la situation. Ils envisagent de réévaluer au bout de quelques années les valeurs seuils de leur cadre de gestion sur la base d'une meilleure connaissance de la dynamique des PFAS dans les sols, des enjeux sanitaires associés et des éventuels impacts.

Mesures d'accompagnement des filières : la mission n'a pas pu identifier de cas significatifs de mesures d'accompagnement pour les maîtres d'ouvrage de stations d'épuration ou bien les filières de valorisation des boues. Les cas d'accompagnement financier direct des agriculteurs touchés restent rares (cas du Maine – annexe 6.6).

⁵² Les États-Unis et le Canada utilisent préférentiellement le terme de biosolide pour désigner les boues d'épuration traitées et stabilisées, qui répondent à des critères réglementaires spécifiques permettant leur recyclage en tant que fertilisant.

4. INTRODUCTION D'UN CADRE REGLEMENTAIRE SUR LES PFAS DANS LES MATIERES FERTILISANTES

L'introduction d'un cadre de gestion de la contamination par les PFAS des matières fertilisantes répond à des enjeux environnementaux, à des enjeux sanitaires, et à des enjeux d'économie circulaire (cf. 4.1.). Tous les acteurs appellent à la mise en place rapide d'un tel cadre de gestion (cf. 4.2.), garantie de qualité des produits et levier de confiance entre producteurs et utilisateurs, mais aussi avec tous les acteurs concernés. Sur cette base, la mission formule des recommandations (cf. 4.3.) sur l'introduction d'un tel cadre de gestion, sur l'effort urgent de connaissance effective des teneurs en PFAS des boues et des sols, sur la coordination d'ensemble, sur le suivi des impacts de ce cadre de gestion et sur les dispositifs d'accompagnement souhaitables.

4.1. Une stratégie à la croisée d'enjeux sanitaires, environnementaux et d'économie circulaire

En l'absence d'un encadrement réglementaire et d'une surveillance, le risque est significatif d'une dissémination de PFAS dans l'environnement via les matières fertilisantes, et notamment via l'épandage de boues et digestats des STEU et des ICPE. La maîtrise de ce risque est à la croisée de trois enjeux :

- les enjeux environnementaux, liés à la qualité des sols agricoles et au risque d'accumulation des substances PFAS dans ces sols, et de transfert vers les eaux, les biotopes, les végétaux ;
- les enjeux de santé humaine, liés au risque de contamination des eaux et de l'alimentation à partir des sols ;
- les enjeux d'économie circulaire et de durabilité, liés aux objectifs sociétaux de recyclage, de valorisation des déchets et d'optimisation de l'usage des ressources.

Articuler ces trois enjeux impose la mise en place d'une réglementation qui encadre les pratiques par des règles claires, et limite efficacement les transferts de PFAS dans l'environnement à des niveaux admissibles et durables. Le calendrier de mise en place de cette réglementation doit donner aux acteurs le temps d'adapter leurs pratiques.

4.2. Les points de vue des acteurs

Les membres de la mission ont rencontré des représentants de la totalité de la chaîne du producteur (gestionnaire) au receveur (CAF), mis à part des élus propriétaires des STEU par manque de temps. Les PFAS sont un sujet récent pour ces acteurs, qui n'a été investi que très récemment. Leurs préoccupations sont principalement concentrées sur le produit et son usage, et les membres de la mission ont été surpris par le manque de réflexion structurée sur le sol, sa capacité d'accumulation des PFAS et de transfert vers l'ensemble de la vie biologique. Les acteurs ont :

- demandé la mise en œuvre rapide de normes en France afin notamment de ne pas perdre la confiance des receveurs, normes si possible communes au sein de l'Union européenne ;
- souligné la complexité du « règlement fertilisants » (R (UE) 2019/1009) qui peut conduire à des différentes interprétations selon les pays, ce qui semble particulièrement important en agriculture biologique ;
- demandé à normer la chaîne d'analyse (protocoles d'échantillonnage, prélèvement puis analyse) afin de dépasser un débat stérile sur la qualité des données et leur comparaison.

De ces rencontres, les points suivants sont éclairants dans le cadre de notre mission :

- Les représentants agricoles ne sont pas inquiets de l'introduction d'une norme, car il existe des solutions techniques alternatives (engrais minéraux notamment) : les coûts sont différents, le matériel à utiliser aussi, mais une progressivité de la mise en place de la norme permettrait de s'adapter. La seule remarque formulée vient du fait que la France produit très peu d'intrants minéraux et que ces produits ont des coûts hautement variables et un impact carbone plus important que les boues. Ceci fragilise encore plus la souveraineté de la France dans la production d'engrais à base d'azote et de phosphore.
- Les instituts techniques et le CIRAD soulignent un niveau en PFAS globalement plus élevé dans les boues de STEU et produits de boues que dans les autres MFSC. Enfin, un certain nombre de cahiers des charges en viticulture interdit l'usage de produits contenant des boues de STEU.
- L'AFAIA, syndicat professionnel des producteurs et metteurs en marché de matières fertilisantes et intrants en France signale :
 - constater une tendance baissière sur l'usage en France d'amendements minéraux depuis 20 ans, plus importante que sur les amendements organiques ;
 - que l'incitation au développement du compostage et de la méthanisation crée une concurrence sur la matière première qui n'est pas extensible ;
 - que le traitement des biodéchets en méthaniseur est en augmentation ;
 - que, pour la filière d'épandage et pour les agriculteurs concernés, il n'est pas aisé de passer des engrais organiques aux engrais minéraux car cela demande des outils totalement différents ;
 - avoir fait remonter à la Commission européenne une demande pour que le socle commun intègre des normes pour les PFAS dans les MFSC ;
 - une possible tension résultante sur les effluents d'élevage qui seront plus sollicités du fait de la mise en place d'une norme sur les boues, alors que leur production est en baisse du fait de la baisse du cheptel ;
 - qu'il existe des pratiques illégales en dehors des réseaux de distribution, notamment à proximité de certaines frontières. L'AFAIA estime ces flux en provenance de la Belgique et des Pays-Bas à 500 000 tonnes MB/an, mais ce chiffre est impossible à vérifier car aucune obligation de traçabilité n'existe. Cette absence de traçabilité et les difficultés qu'elle génère ont aussi été identifiées lors de nos échanges avec des acteurs de la région Grand-Est.
- Pour l'Institut national de l'origine et de la qualité (INAO), dans le cadre de la réglementation Agriculture Biologique (AB), les organismes de contrôle (OC) contrôlent que les MFSC employées par leurs opérateurs sont bien utilisables en agriculture biologique (UAB). Ils n'effectuent pas de prélèvement directement sur les MFSC. En revanche, les prélèvements réalisés sur des produits détectent régulièrement des contaminations par des pesticides classés PFAS. En 2024, les OC ont détecté par leurs analyses 126 cas de contaminations de produits, cultures ou parcelle bio par un pesticide classé PFAS, ce qui représente 8 % des contaminations détectées par leurs analyses. Les enquêtes concluent principalement à des dérives de voisinage ou rémanences et ont mené au déclassement ou au retrait de la vente de 64 produits. Aucune contamination par le biais d'une MFSC n'est évoquée.

- SYPREA, syndicat représentatif des gestionnaires de station d'épuration, regrette l'absence de normes. Certains de ces adhérents comme VEOLIA et SUEZ réalisent depuis plusieurs années des analyses de PFAS sur les phases aqueuses et solides. Un certain nombre de résultats d'analyses rendus anonymes ont été fournis à la mission sous le sceau de la confidentialité, indication d'une ouverture de ces acteurs au partage de leurs réflexions. De manière globale, les adhérents de SYPREA estiment que la mise en œuvre d'une norme similaire à la réglementation de Belgique-Wallonie⁵³ impacterait 5 % des boues et nécessiterait cinq ans d'adaptation et d'investissement sans bouleversement de la filière, alors que la norme danoise⁵⁴ imposerait une incinération d'une grande partie du gisement, ce qui est actuellement impossible du fait du manque d'incinérateurs pour absorber ces produits.
- Les services de l'État, représentés par trois DREAL (CVL, AURA, GE), la DDT (41) et l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, travaillent trop souvent en silo. Ils déplorent le manque de consignes nationales, le manque de normes, de moyens financiers pour diligenter des analyses, ainsi que le manque de textes de référence leur permettant de prescrire des analyses afin d'obtenir de la connaissance. Les échanges de courriers entre la DREAL CVL, la DEB et la DGPR sont annexés au rapport et sont analysés dans d'autres parties du rapport. Il n'existe aujourd'hui aucun pilotage national de la donnée recueillie sur le sujet (PFAS et boues de STEU et ICPE), et aucune structure technique de référence n'est identifiée formellement, auprès de laquelle les services pourraient obtenir des conseils, une aide méthodologique, ce qui est souvent le cas dans des situations émergentes.

Par ailleurs, la coalition de collectivités européennes, lancée par la métropole de Lyon et qui s'est réunie début février 2026 à Bruxelles, a publié le 24 février une série de demandes pour lutter contre la pollution chimique. Les signataires, parmi lesquels les villes d'Oslo, Strasbourg, Bordeaux et plusieurs métropoles, soutiennent le processus en cours en vue d'une restriction « universelle » des PFAS, afin d'agir à la source. « *Une industrie qui continue de dépendre des PFAS ne peut pas se positionner de manière crédible comme étant durable ou à l'avant-garde dans son secteur* », écrivent les collectivités. Pour elles, « *l'utilisation des PFAS est incompatible avec les objectifs européens pour des sols en bonne santé, un air et une eau de qualité* ». Les collectivités se mobilisent aussi sur la dépollution et son financement : elles plaident pour un cadre européen de mesure de la pollution afin d'établir un catalogue de sites potentiellement contaminés par les PFAS, afin de hiérarchiser les actions de dépollution. Elles appellent à faciliter l'application du principe pollueur-payeur et à financer un plan de réparation des sites orphelins via le système de responsabilité élargie des producteurs, également préconisé par les ONG. Les collectivités plaident aussi pour la révision du règlement REACH.

4.3. Cadres de gestion PFAS dans les MFSC et anticipation des impacts

Le cadre de gestion des PFAS dans les MFSC doit couvrir plusieurs composantes présentées ci-dessous et objets de recommandations : la mesure des teneurs en PFAS des sols ; la mesure des teneurs en PFAS des MFSC ; la coordination nationale du domaine PFAS-MFSC-Sols ; l'anticipation des impacts et les mesures d'accompagnement.

⁵³ Seuils de 40 µg/kg MS pour la somme de 6 PFAS et 400 µg/kg MS pour la somme de 22 PFAS, cf partie 3.

⁵⁴ Seuils de 10 µg/kg MS pour la somme de 4 PFAS et 50 µg/kg MS pour la somme de 22 PFAS, cf partie 3.

4.3.1. Pertinence de l'introduction rapide et progressive de seuils en PFAS dans les MFSC et proposition d'une méthode

Tous les acteurs rencontrés par la mission formulent le souhait d'une introduction rapide d'une telle réglementation (cf. partie 4.2.). Tant qu'un tel cadre réglementaire n'est pas mis en place, le risque de transferts non maîtrisés de PFAS vers l'environnement est réel, et les filières de valorisation agricole des boues sont vulnérables à une perte de confiance. Lorsque des dépassements de seuils réglementaires « eau potable » sont observés, on assiste souvent à une incrimination à tort ou à raison des épandages de boues, qui peut conduire certains agriculteurs à faire le choix d'arrêter le recours à l'épandage, sous la double pression du risque encouru par leurs sols et de leur environnement social.

Une réglementation encadrant trois paramètres : en cohérence avec le triptyque cité au chapitre 4.1, la réglementation devrait idéalement fixer des seuils réglementaires ou des valeurs cibles sur trois composantes : les teneurs en PFAS admissibles des sols, les flux annuels maximum autorisés de PFAS à la parcelle, les teneurs maximales en PFAS autorisées dans les MFSC.

- **Un seuil de teneur maximum en PFAS des sols ($T_{\text{PFAS-SOLmax}}$ en $\mu\text{g PFAS/kg MS sol}$).**

Règle 1 : au-delà de ce seuil, un sol ne peut recevoir que des MFSC « sans PFAS » (*i.e.* MFSC de teneur en PFAS inférieure à la limite de quantification ou au seuil intermédiaire défini ci-après).

- **Un seuil de quantité maximale annuelle de PFAS apportée aux terres agricoles, défini par année ou par période de plusieurs années (Q_{PFAS} en $\mu\text{g PFAS/ha/an}$).**

Règle 2 : la quantité de PFAS apportée à une parcelle de superficie S sur une période de N années, *a priori* via les boues et digestats, ne peut dépasser ce seuil (*i.e.* $V_{\text{MS}} * T_{\text{PFAS-MFSC}}$ ne doit pas dépasser $S * N * Q_{\text{PFAS}}$).

- **Des seuils maximum (voire intermédiaires) de teneur en PFAS des MFSC ($T_{\text{PFAS-MFSCint}}$ et $T_{\text{PFAS-MFSCmax}}$ $\mu\text{g/kg MS}$) par PFAS individuels ou par groupes de PFAS.**

Règle 3 : au-delà du seuil maximum l'usage de la MFSC est interdit ; en deçà du seuil intermédiaire aucune limitation d'usage de la MFSC n'est imposée ; pour des teneurs en PFAS intermédiaires entre les seuils intermédiaires et maximum, les usages de la MFSC sont encadrés (surveillance renforcée des sols et des flux). Cette approche par paliers a été observée dans certains territoires à l'occasion du parangonnage réalisé (État du Michigan, province de Québec) (cf. 3.).

Le choix des valeurs des seuils réglementaires, normatives ou indicatrices s'appuiera notamment sur les préconisations de la mission commandée au Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) et sur les résultats du parangonnage. Cependant, si l'analyse du HCSP nécessite du temps, il est possible de fixer un seuil temporaire équivalent à celui de la Wallonie qui semble un compromis raisonnable pour une première étape, avec un contexte comparable au contexte français (cf. partie 3). En complément, un dispositif opérationnel de suivi des PFAS dans les sols qui ont reçu des boues de STEU ou ICPE devrait être mis en place (1 site analysé PFAS tous les X ha épandus, toutes les Y années (par ex. 1 parcelle tous les 100 ha épandus, suivie tous les 5 ans).

Une réglementation fixant des objectifs à moyen terme et une trajectoire pour les atteindre :

Afin de permettre à l'ensemble des acteurs concernés de s'adapter de façon active sans une rupture brutale, le cadre réglementaire devrait :

- 2026-2028 : Introduire rapidement un premier cadre de norme (potentiellement en s'inspirant de la norme wallonne) et consacrer les trois premières années à rassembler les connaissances ;
- 2029-2035 : Sur la base des connaissances acquises et des préconisations du HCSP, annoncer des objectifs ambitieux à moyen terme (10 ans) : fixer les objectifs et définir la trajectoire sur les sept années restantes donnant aux filières le temps de s'adapter.

Une circulaire cadre publiée rapidement serait un bon levier.

Une réglementation non figée, évoluant par étapes avec l'avancée des connaissances : le manque actuel de connaissances objectives sur les teneurs en PFAS des matières fertilisantes (particulièrement des boues de STEU et d'ICPE), sur les dynamiques de transfert et d'accumulation des PFAS dans les sols, les eaux et les végétaux, sur les risques sanitaires associés aux différentes substances PFAS est reconnu. La réglementation doit donc s'accompagner d'une poursuite des efforts dans l'acquisition de la connaissance et s'appuyer sur ses résultats pour s'adapter en conséquence. Cette adaptation doit se faire par étapes planifiées, sans changements imprévisibles (stabilité des règles sur 3 ou 5 années et clauses de revoyure avec calendrier planifié).

Suivi de la réglementation PFAS dans les MFSC : Le suivi de la réglementation est un garant de sa bonne mise en œuvre et de la confiance des acteurs concernés. Les points suivants sont considérés comme incontournables :

- établissement de certificats par lots de boue (mesures PFAS en complément des autres mesures) ;
- adaptation du contrôle pour les trois gammes de STEU (<2 000 EH ; 2 000 à 10 000 EH; plus de 10 000 EH) ;
- vérification de la traçabilité jusqu'à la parcelle.

Sur ces bases, la mission recommande de :

R1. Mettre en œuvre un processus réglementaire « PFAS et matières fertilisantes » rapide, échelonné en plusieurs étapes (DGAL, DEB, DGPR, DGPE, ...) : (1) Diffuser une circulaire indiquant aux services de l'État la stratégie en deux étapes de maîtrise des risques de contamination par les PFAS des MFSC et des sols ; (2) Lancer la procédure d'intégration de seuils en PFAS dans le socle commun ; (3) Modifier avant l'été 2026 les dispositions des arrêtés du 8 janvier 1998 (IOTA) et du 2 février 1998 (ICPE) selon les trois règles proposées par la mission avec les seuils préconisés par le HCSP ou les seuils wallons dans un premier temps ; (4) Publier rapidement une instruction technique de la DEB⁵⁵ proposant aux services déconcentrés un protocole métrologique ; (5) Mettre en place une certification des boues susceptibles d'être épandues ; (6) Mettre en place un dispositif opérationnel de suivi des PFAS dans les sols qui ont reçu des boues de STEU ou ICPE.

Cette recommandation nécessite également :

- un accompagnement des collectivités gestionnaires de STEU, notamment pour les petites STEU ;
- un accompagnement des services en charge de la police de l'eau car de nombreux actes administratifs seront nécessaires ;

⁵⁵ Associée à celle de l'INERIS/BRGM similaire à l'instruction technique du 18 août 2025 de la DGAL

- l'intégration d'une possibilité de mélange de boues liquides avant épaissement, notamment dans le cadre d'unités de déshydratation mutualisées ;
- l'adaptation de certains incinérateurs afin d'augmenter leur capacité d'incinération avec un système en basse température (cf. annexe n°12).

En l'état actuel des données que la mission a pu analyser (cf. Tableau 7), il est envisageable qu'une centaine de STEU de plus de 10 000 EH (5 % de l'effectif) et plus d'un millier de STEU de moins de 10 000 EH connaissent à certains moments des non-conformités de leurs boues par rapport aux normes appliquées en Belgique-Wallonie. Le volume de boues non conformes est estimé à 40 000 t MS/an (à parts équivalentes entre les ~2 % des boues des STEU de plus de 10 000 EH et les 10 % des boues des STEU de moins de 10 000 EH). La mission rappelle qu'il s'agit d'une première estimation très fragile, au vu des limites du jeu de données disponibles. Cette estimation pourra être consolidée en 2026-2027 au fil de la mise en œuvre de la recommandation R4.

4.3.2. Une stabilisation des protocoles métrologiques des PFAS dans les matrices solides

L'expérience de mesure des teneurs en PFAS des boues de STEU du RSDE Loire Bretagne 2022 (cf. 2.2.2.) démontre l'impératif d'une stabilisation des protocoles de prélèvement des boues et digestats, et d'analyse de leurs teneurs en PFAS.

Le projet de norme ISO/DIS 25652 « Sédiments, sol, boues et déchets — Analyse des PFAS par CLHP et spectrométrie de masse »⁵⁶ est actuellement en voie de finalisation auprès des membres de l'ISO et devrait être publié courant 2026. Il est disponible et peut d'ores et déjà servir de base aux travaux de mesure des teneurs en PFAS dans les sols et boues qui ne pourraient attendre son officialisation.

En parallèle à la publication de la norme ISO, l'accréditation des laboratoires d'analyse (et le cas échéant des organismes de prélèvement) doit être stimulée. Pour cela, l'annonce d'une part de l'organisation de campagnes nationales ambitieuses de mesure des PFAS dans les sols (cf. R3) et dans les boues (cf. R4) et, d'autre part, de la mise en œuvre d'un cadre de gestion prévoyant le suivi PFAS des boues et digestats valorisés par épandage (cf. R1) ouvrira un marché qui incitera à une concurrence entre les laboratoires d'analyse. Cette concurrence sera susceptible de faire baisser les coûts.

Il sera particulièrement important de s'assurer de limites de quantification faibles pour la détection individuelle des PFAS dans les matrices solides (par exemple <1 ou 2 µg/kg MS), ceci afin de garantir la pertinence des indicateurs résultant de la somme de plusieurs PFAS (cf. Tableau 9 ; par exemple somme de 22 PFAS < 400 µg/kg MS dans le cas de la réglementation wallonne).

Plusieurs éléments ne figurant pas dans la norme ISO/DIS 25652 devront être précisés :

- toujours associer la valeur de siccité des boues à la mesure de teneur en PFAS ;
- échantillonner les boues « prêtes à l'épandage agricole » (point S6 des STEU et non S4) ;
- dans le cas des campagnes de mesure exploratoires, il pourra être pertinent de doubler la mesure (i) la teneur en PFAS des boues ou sols, (ii) la teneur en PFAS de leur phase aqueuse. Cette seconde mesure est en effet susceptible de renseigner sur les transferts rapides de PFAS des sols vers les eaux.

⁵⁶ <https://www.iso.org/fr/standard/91024.html>

R2. Stabiliser les protocoles métrologiques des PFAS dans les matrices solides (DGPR). Etablir dès 2026 un document-cadre sur les protocoles de prélèvement et d'analyse des teneurs en PFAS des boues, digestats et sols (matrices solides), en s'appuyant sur le projet de norme ISO/DIS 25652, sur les travaux de l'INERIS et d'AQUAREF, et sur le retour d'expérience du RSDE Loire Bretagne 2022. Ce document sera actualisé une fois publiée la norme ISO/DIS 25652. Exiger l'accréditation correspondante des laboratoires d'analyse et des organismes de prélèvement (acteurs à mobiliser : INERIS, AQUAREF, ...).

4.3.3. Une organisation du suivi des teneurs en PFAS des sols

L'enjeu environnemental de préservation de la qualité des sols sur le moyen et long terme impose de renforcer la connaissance des teneurs en PFAS des sols et de développer les connaissances scientifiques sur les mécanismes d'accumulation et transfert qui contrôlent le devenir des PFAS apportés aux sols via les MFSC. Pour cela, le suivi des teneurs en PFAS des sols doit être renforcé de trois façons coordonnées par :

- les travaux du RMQS sur la caractérisation PFAS des sols : le RMQS prévoit le suivi des PFAS dans les sols via un plan d'échantillonnage national de 170 stations, la quantification des « valeurs de fond PFAS des sols », l'identification de situations anormales, la quantification des évolutions des teneurs en PFAS (reprise d'échantillons anciens). Ces travaux déterminants doivent être soutenus, voire amplifiés.
- une campagne de mesure initiale, au niveau national, des teneurs en PFAS des sols ayant reçu des épandages de STEU ou d'ICPE au cours des 10 dernières années, notamment quand ces boues ou digestats ont été diagnostiqués comme à teneur en PFAS élevée. Cette campagne initiale de mesure des sols (~1000 stations) doit être liée à la campagne de caractérisation des boues et digestats développée en 4.3.4.
- la mise en œuvre opérationnelle de la composante « sols » de la réglementation de suivi des PFAS dans les MFSC. Ce suivi doit permettre le contrôle réglementaire (cf. règle 1 du 4.1.), le suivi de routine, le contrôle *a posteriori* (pour renseigner des cas de contamination des boues).

L'ensemble des données acquises sur les teneurs en PFAS des sols (travaux du RMQS, campagne initiale, suivi réglementaire) doivent être rassemblées en un système d'information cohérent et être régulièrement analysées (rapport annuel).

Par ailleurs, il est impératif de développer la connaissance scientifique, encore fragmentaire, sur les mécanismes de transfert et d'accumulation des PFAS dans les sols, les eaux, les végétaux, les plantes cultivées et leur partie alimentaire, et de soutenir le développement de modèles de simulation paramétrés. Ces modèles pourront être mobilisés pour déterminer les seuils autorisables de flux de PFAS aux parcelles en fonction des objectifs cibles (teneur maximum en PFAS des sols, des eaux, de l'alimentation), dont les valeurs sont attendues notamment du HCSP. Le suivi de PFAS par le RMQS s'articulera avec la future gouvernance qui sera mise en place en application de la directive « sol ».

R3. Organiser le suivi des teneurs en PFAS des sols à l'échelle nationale (CGDD, DEB, DGPR, DGAL). Cette organisation doit articuler (i) le suivi PFAS du RMQS, (ii) une campagne de mesure nationale 2026-2027 dédiée aux sols ayant reçu des épandages depuis 10 ans (en lien avec la campagne « boues de STEU et ICPE »), (iii) la mise en œuvre opérationnelle de la composante « sols » du cadre de gestion PFAS et MFSC. Rassembler l'ensemble des données ainsi acquises en un système d'information cohérent et en produire une analyse annuelle pour les trois à cinq prochaines années. Soutenir le développement des connaissances scientifiques sur les mécanismes de transfert de PFAS dans les sols et de modèles de simulation adaptés. Mobiliser ces connaissances et modèles pour faire évoluer le cadre de gestion. (acteurs à mobiliser : INRAE, BRGM, AQUAREF,)

4.3.4. Campagne nationale 2026-2027 de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats valorisés par épandage agricole

La connaissance actuelle du niveau de contamination PFAS des boues valorisées par épandage agricole est embryonnaire. Il est indispensable d'en acquérir rapidement une vision objective, à même de guider la mise en place du cadre de gestion. La mission recommande de mettre en œuvre dès 2026 une campagne nationale de mesure des teneurs en PFAS des boues/digestats de STEU/ICPE valorisées par épandage agricole, en s'appuyant sur le retour d'expérience du RSDE Loire Bretagne 2022 (cf. 2.2)⁵⁷. Les caractéristiques de cette campagne seraient :

- matrices mesurées : boues et digestats avant envoi à l'épandage agricole (point S6 du synoptique SANDRE) ;
- entités échantillonnées (couverture nationale) :
 - STEU valorisant leurs boues (et le cas échéant leurs digestats) par épandage agricole : ~2 800 STEU (10 % de l'effectif national) : **1 400 STEU de plus de 10 000 EH (100 % de l'effectif) ; 1 400 STEU de moins de 10 000 EH (7 % de l'effectif)**, réparties par bassins, régions, départements et tranches d'obligation de façon à fournir la vision la mieux distribuée possible.
 - ICPE valorisant leurs boues (et le cas échéant leurs digestats) par épandage agricole : effectif à estimer.
- temporalité : période de 12 mois ; six dates de prélèvement par an coordonnées (un prélèvement par période de deux mois ; au moins un mois entre deux prélèvements) ;
- PFAS : mesure d'une liste de PFAS à déterminer (~20 à 25 PFAS - eau potable / DCE) ;
- protocole de prélèvement et analyse : à définir sur la base du projet de norme ISO/DIS 25652 ;
- laboratoires d'analyse : chaque échantillon doit être l'objet de mesures indépendantes par deux ou trois laboratoires d'analyse (dont un public) ;
- coordination, capitalisation, traitement des données : les résultats des analyses doivent être capitalisés et traités en continu. Notamment, les STEU/ICPE pour lesquelles des mesures seraient aberrantes, ou divergentes entre les deux laboratoires d'analyse, doivent être rapidement identifiées et faire l'objet d'un suivi spécifique ;
- résultats : calcul d'indicateurs. Analyse statistique de la distribution des teneurs en PFAS (détermination des quantiles) au niveau national et par bassins, voire par régions. Analyse des

⁵⁷ Points de prélèvement des boues ; protocole de prélèvement et analyse ; manque d'échantillonnage des STEU de moins de 10 000 EH ; taille réduite de l'échantillon

taux de non-conformité à différentes réglementations. Identification des cas extrêmes (20% les plus élevés) et analyse des facteurs explicatifs.

Cette campagne pourrait être financée par les agences de l'eau et pilotée au niveau national par un organisme public à définir. L'INERIS (métrologie – risque) et INRAE (sol, eau et MAFOR) sont particulièrement investis dans le domaine. Elle devra être articulée avec la campagne de suivi des teneurs en PFAS des sols (cf. recommandation 3) : pour chaque STEU, ICPE et flux de boue ou digestat, une parcelle épandue représentative fera l'objet d'une mesure PFAS-sols.

R4. Organiser une campagne nationale de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats (DEB, DGPR). Organiser dès 2026 une campagne nationale de mesure des teneurs en PFAS des boues et digestats de STEU et ICPE, rassembler l'ensemble des données ainsi acquises en un système d'information cohérent et en produire une analyse. Mobiliser ces connaissances et modèles pour faire évoluer le cadre de gestion (acteurs : DEB, INRAE, BRGM, AQUAREF,)

4.3.5. Une amélioration de l'information sur les MAFOR

Un travail d'actualisation et de synthèse des données sur la production et la valorisation de MAFOR doit impérativement être mené. Il devra exploiter notamment le PKGC 2021 (enquête sur les pratiques culturales, SSP), les données du service des données et études statistiques (Sdes) et les données de la base de données du registre des émissions polluantes (BDREP⁵⁸). Il devra également porter sur les digestats de méthaniseurs valorisés par épandage agricole et traiter les informations partielles sur les importations de MAFOR.

Ce travail d'actualisation et de mise à jour régulier pourra permettre un suivi global des filières en charge de la valorisation des MAFOR.

R5. Créer une base de données sur la production et la valorisation de toutes les MAFOR (MAASA, MTE). Demander dès 2026 au SSP de constituer cette base puis de la mettre à jour. Intégrer les éléments en provenance ou à destination d'autres pays. Intégrer et vérifier la cohérence des informations fournies par les gestionnaires de STEU ou d'ICPE.

L'ensemble des données acquises permettra d'éclairer plus précisément l'impact sur toutes les filières.

4.3.6. Coordination nationale du suivi des teneurs en PFAS des MFSC et des sols

L'importance des enjeux environnementaux, sanitaires et d'économie circulaire associés à la maîtrise des flux de PFAS dans l'environnement impose qu'une instance nationale coordonne le sujet des « PFAS dans les matières fertilisantes et dans les sols ». Cette instance nationale pourrait avoir des groupes miroirs par bassin. La mission de cette instance sera (1) de coordonner le recueil, l'analyse et le partage de l'information sur la réglementation, sur les mesures de terrain, sur les impacts et sur les situations à risque ; (2) de faire émerger de la concertation des voies d'adaptation pertinentes ; (3) de mener la réflexion sur l'évolution de la réglementation en fonction de l'actualisation des connaissances. Elle devra définir les conditions de centralisation des données collectées et d'amélioration de la traçabilité des boues et digestats valorisés par épandage. Elle

⁵⁸ Base de données du registre des émissions polluantes (<https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/directive-emissions-industrielles-ied-bref-mtd/donnees-registre>)

désignera un acteur public référent national en charge de la gestion et de l'analyse de ces données.

Cette instance de coordination pourrait être mise en place pour une durée de cinq années :

- deux années consacrées à la mise en œuvre du cadre de gestion initial, à la métrologie et à l'observation,
- trois années consacrées au suivi de l'adaptation des filières, au suivi des systèmes de traitement des PFAS et à l'actualisation du cadre de gestion.

Un mode de collaboration devra être défini entre la puissance publique (DG MTE et MAASA, DGS, AE), la recherche publique (INRAE, INERIS, AQUAREF) et les filières concernées (collectivités, exploitants de STEU, industriels ICPE, secteur agricole, laboratoires d'analyse...). Cette gouvernance pourrait s'inspirer du Comité de rénovation des normes en agriculture (CORENA). Elle bénéficierait à être spécifique à la gestion des PFAS au moins dans les cinq premières années afin de bien appréhender notamment les conséquences sur les filières. Elle devra se faire en harmonie avec la gouvernance qui sera mise en place en déclinaison de la directive « sols ».

R6. Mettre en place une gouvernance et une coordination nationale du suivi des teneurs en PFAS des MFSC et des sols (toutes DG concernées - MAASA, MTE, MS). Mettre en place pour une durée de cinq ans renouvelables une instance nationale de coordination du sujet « PFAS dans les sols et les matières fertilisantes », chargée de suivre la mise en œuvre du cadre de gestion, de coordonner les programmes de recueil, d'analyse et de partage des données, d'évaluer l'impact sur les filières, d'évaluer l'évolution des systèmes de traitement et les stratégies d'adaptation, de réfléchir à l'actualisation du cadre de gestion (acteurs à mobiliser : recherche, filières économiques).

4.3.7. Mesures d'anticipation des impacts et d'accompagnement

L'introduction d'un cadre de gestion de la contamination par les PFAS des MFSC s'accompagnera d'impacts tant sur les filières productrices des MFSC que sur les filières utilisatrices. Ces impacts doivent être évalués dans l'absolu, mais aussi par rapport à l'absence de cadre de gestion.

Les impacts les plus importants seront positifs : sur la qualité des MFSC, en particulier celle des boues destinées à l'épandage agricole ; sur la préservation de la qualité des sols ; sur la réduction des risques sanitaires et environnementaux. Ils se traduiront par un renforcement de la confiance entre les utilisateurs des MFSC, leurs producteurs, et les autres acteurs concernés (collectivités, producteurs d'eau potable...).

Certains impacts s'avéreront à l'inverse négatifs : le retrait pour non-conformité d'un volume de MFSC ; l'augmentation résultante des coûts des MFSC en général ; les nouvelles charges pour les utilisateurs de boues et digestats qui auront été déclassés ; l'augmentation, pour les industriels (ICPE) et les collectivités (MO de STEU), des coûts liés à la destruction des MFSC non conformes. L'ampleur économique de ces impacts dépendra principalement de trois facteurs : (i) la superficie de sols agricoles dont la teneur en PFAS interdirait tout apport supplémentaire de PFAS ; (ii) le tonnage de MFSC, boues et digestats de STEU et ICPE, qui s'avèreront non conformes aux valeurs seuils ; (iii) le coût de traitement ou destruction des MFSC non conformes.

Il convient toutefois de nuancer ces impacts en tenant compte de la mise en œuvre de la DERU2 (art11 – autonomie énergétique) à l'horizon 2035 qui conduira à augmenter fortement la part des boues destinées à une valorisation énergétique.

L'état actuel des connaissances ne permet pas de caractériser, quantifier et localiser ces impacts négatifs. La mise en œuvre des recommandations R3 (contamination PFAS des sols et connaissances sur les transferts), R4 (contamination PFAS des boues et digestats de STEU et ICPE) et R5 (coordination et suivi des impacts), articulée avec la prise en compte des avis qui seront formulés par le HCSP sur les seuils sanitaires, en donnera une vision plus objective d'ici fin 2027.

Afin d'anticiper les impacts négatifs et d'optimiser la capacité d'adaptation des filières sans attendre 2028, la mission préconise de mettre en œuvre de façon précoce les mesures-cadres suivantes :

- réduire à la source l'usage des PFAS ;
- renforcer la capacité d'identification et de traitement des sources de PFAS quand des cas de contamination sont détectés (ex : dans le cas de contaminations PFAS des eaux potables, renforcer la capacité à identifier les plans d'épandages sur la zone d'alimentation et les STEU et ICPE productrices, à mener l'analyse PFAS de leurs produits et des sols concernés) ;
- renforcer la gestion des conventions spéciales de raccordement ICPE sur les STEU urbaines ;
- estimer l'impact de la gestion des boues non conformes sur les coûts de l'assainissement et prévoir un dispositif d'accompagnement des STEU de petite taille (moins de 10 000 EH) ;
- identifier les filières permettant la neutralisation des MFSC non-conformes PFAS : solutions techniques (prétraitement poussé des boues ; production d'énergie ; incinération basse température; filières technologiques, brevets), capacité des infrastructures, investissements nécessaires ;
- renforcer le suivi de l'import-export des boues de STEU et ICPE ;
- sensibiliser les acteurs agricoles concernés au suivi des PFAS dans les sols ;
- mobiliser en tant que besoin pour cela le fonds de garantie existant actuellement pourvu à hauteur de 3.7 millions d'euros, en le renforçant (cf. annexe n°12).

R7. Anticiper les impacts du cadre de gestion PFAS et MFSC, mesures d'accompagnement (toutes DG du MAASA et MTE concernées). Suivre les impacts associés à l'introduction du « cadre de gestion PFAS et MFSC » sur les volumes de MFSC non conformes, les surfaces de sols agricoles dépassant les normes de teneur en PFAS, les coûts de traitement ou destruction des MFSC non conformes. Mettre en œuvre les mesures cadre d'accompagnement préconisées et remobiliser pour cela le fonds de garantie existant actuellement pourvu à hauteur de 3,7 millions d'euros, en le renforçant (acteurs à mobiliser : les filières, les collectivités, CAF).

CONCLUSION

Le risque de diffusion de PFAS dans l'environnement, via l'épandage de matières fertilisantes et supports de cultures, est réel et requiert l'introduction urgente d'un cadre de gestion adapté. Ce risque concerne principalement les matières fertilisantes d'origine résiduaire, potentiellement vectrices de PFAS liés à leurs flux d'alimentation : boues et digestats de stations d'épuration urbaines, d'installations classées pour la protection de l'environnement, de méthaniseurs.


Ce cadre de gestion se situe à la croisée d'enjeux majeurs : des enjeux sanitaires (l'eau potable et l'alimentation), des enjeux environnementaux (la qualité des sols et des eaux, la santé des biotes et des écosystèmes) et des enjeux d'économie circulaire (la gestion durable des ressources et le recyclage des déchets). Le présent rapport dresse un état des lieux de la situation française actuelle à partir des informations disponibles et analyse les cadres de gestion mis en œuvre dans plusieurs pays. Sur cette base, qui devra être consolidée, il formule des recommandations sur la structure d'un cadre de gestion des PFAS dans les matières fertilisantes, sur le phasage de sa mise en œuvre, sur les conditions de son efficacité.

La maîtrise du risque lié aux PFAS dans les matières fertilisantes s'inscrit dans un ensemble plus large de contaminants déjà encadrés (métaux, PCB, ...) et doit impérativement être abordée de manière cohérente avec les dispositifs existants. Le « **socle commun sur les matières fertilisantes** » constitue ce cadre réglementaire harmonisant les exigences de qualité sanitaire et agronomique applicables aux matières épandues sur les sols. Sa mise en œuvre nécessitera un investissement accru des services de l'État qui doit être anticipé.

La maîtrise de ce risque doit également s'appuyer sur un renforcement significatif des connaissances et des outils associés, depuis les dispositifs de mesure et de suivi, de traçabilité et de partage de l'information ; jusqu'à la connaissance scientifique des mécanismes de transfert des contaminants entre les sols, les eaux et les plantes qui permettra d'optimiser les actions et la réglementation en fonction des objectifs sanitaires et environnementaux.

Enfin, le gisement des matières fertilisantes d'origine résiduaire fera face dans les prochaines décennies, en France comme dans d'autres pays, à des mutations importantes : priorité donnée à la valorisation énergétique d'une partie des matières organiques résiduaires, technologies d'extraction des éléments d'intérêt (ex. phosphore), adaptation des territoires à l'acceptation sociale de l'épandage, évolution des coûts des matières fertilisantes organiques et minérales... Ces perspectives imposent une concertation renforcée entre les pouvoirs publics, garants des objectifs sanitaires et environnementaux, et les acteurs des filières concernées.

Signatures des auteurs

 Céline SCHMIDT	 Pascal KOSUTH	 Laurent WENDLING
---	--	---

ANNEXES

- Annexe 1 : Note de cadrage et lettre de mission
- Annexe 2 : Bibliographie
- Annexe 3 : Liste des personnes rencontrées
- Annexe 4 : Liste des sigles utilisés
- Annexe 5 : Liste des tableaux et figures du corps du rapport
- Annexe 6 : Fiches de synthèse par pays
- Annexe 7 : Définitions
- Annexe 8 : Les campagnes RSDE dans le bassin Loire Bretagne
- Annexe 9 : Illustration d'un protocole d'échantillonnage, applicable à différentes MFSC
- Annexe 10 : Échange de courriers entre la DREAL de Bassin Loire Bretagne et la DEB et la DGPR
- Annexe 11 : Incinération basse température – société Véolia Brevet n°23 02257
- Annexe 12 : Fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration (FGRE)
- Annexe 13 : Impact de sécheresse des boues sur leur teneur en PFAS
- Annexe 14 : Épaississement des boues en station d'épuration
- Annexe 15 : Les différentes boues – origines - destinations
- Annexe 16 : Analyse d'impact de l'application du socle commun pour le cadmium
- Annexe 17 : Frise temporelle : prise en compte depuis les années 2000 de la problématique PFAS dans les EDCH et les boues
- Annexe 18 : Méthodes d'analyse des échantillons (préparation, extraction, mesure) et risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions
- Annexe 19 : La production de MAFOR en France : origines et volumes
- Annexe 20 : Extrait étude SYNTEAU sur l'impact de la DERU2 article 11

Annexe 1 : Lettre de commande et saisine du HCSP



Paris, le 31 JUIL. 2025

Le directeur de cabinet de la ministre de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche

Le directeur de cabinet de la ministre de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire

à

Monsieur le Chef de service de l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable

Madame la Vice-Présidente du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux

N/Réf : SCR/2025D/239

V/Réf :

Objet : Mission relative aux cadres de gestion de la contamination par les PFAS des matières fertilisantes.

La loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a prévu qu'une réglementation transversale encadre la qualité et l'innocuité de toutes les matières fertilisantes, selon leurs usages, afin de renforcer les normes sanitaires et d'améliorer la disponibilité en matières fertilisantes issues du recyclage et présentant une qualité suffisante.

Les substances perfluoroalkyles ou polyfluoroalkyles (PFAS), large famille de plusieurs milliers de composés chimiques, font l'objet de préoccupations importantes en raison de l'exposition quasi-généralisée de la population (les biomarqueurs d'exposition au PFOA et au PFOS ont par exemple été quantifiés chez tous les enfants et adultes ayant fait l'objet de dosages dans le cadre d'une étude de biosurveillance en 2014-2016). L'alimentation, incluant les boissons, représente le vecteur d'exposition principal pour la majeure partie de la population. L'Union européenne s'est dotée d'un corpus réglementaire complet pour la mesure des molécules PFAS dans les denrées alimentaires produites et mises en marché par les exploitants agricoles et les opérateurs des filières agroalimentaires. Le MASA a mis en place un réseau de 5 laboratoires agréés à même d'analyser 22 composés PFAS dans tous types de denrées alimentaires. La toxicité des PFAS est encore mal connue, mais des effets nocifs et toxiques sur le métabolisme humain, pouvant aller jusqu'à la cancérogénicité ou la reprotoxicité, ont été observés pour plusieurs PFAS.

Considérant par ailleurs la très forte persistance de ces molécules dans les milieux, se pose la question du rôle des pratiques de fertilisation dans le transfert de PFAS dans les végétaux destinés à l'alimentation humaine ou animale. Le rapport IGEDD n° 014323-01 de décembre 2022 recommandait ainsi que la valorisation par épandage de boves, ou la qualification de fertilisant de certains composts soit interdite à compter d'un certain niveau de concentration en PFAS.

78, rue de Varenne
75349 PARIS 07 SP
Tél : 01 49 55 49 55

Aussi, en complément des travaux engagés dans ce champ dans le cadre du plan d'action interministériel sur les PFAS (avril 2024) et à brève échéance, nous souhaitons que vous établissiez un point de situation, notamment de valeurs de référence et de périmètre des substances PFAS prises en compte, sur les pratiques de gestion mises en œuvre dans les pays disposant d'une réglementation dans ce domaine (Autriche, Allemagne, Norvège, Suède, Usa – Michigan, Canada, Danemark, Belgique – Wallonie, etc.). Une attention particulière pourra être portée à la description des modalités de détermination des valeurs de référence. La mission ciblera des couples molécules/matrice présentant un intérêt particulier.

Vous vous prononcerez également sur l'opportunité de prévoir un cadre réglementaire en France susceptible d'intégrer le cadre de la réglementation transversale encadrant la qualité et l'innocuité de toutes les matières fertilisantes, notamment en matière de classement des matières fertilisantes en quatre catégories et d'expression des critères d'innocuité sous la forme de teneurs maximales ainsi que de limites d'apports annuels à ne pas dépasser. À cette fin, vous pourrez mobiliser les données, incluant les éléments bibliographiques, collectées à date dans le cadre de la mise en œuvre des actions du plan interministériel d'action sur les PFAS (mesures des concentrations de PFAS dans différents milieux notamment).

+

Nous vous remercions de nous communiquer votre rapport d'ici le 30 novembre.



Grégoire HALLIEZ



Quentin GUERINEAU



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Paris, le **25 JUIL. 2025**

**Le Directeur général de la prévention
des risques**

Le Directeur général de la santé

à

**Monsieur le Président du haut conseil
de la santé publique**

Objet : Saisine relative à la gestion des boues d'installations industrielles contaminées par les PFAS

Les substances per- ou polyfluoroalkylées (PFAS), large famille de plusieurs milliers de composés chimiques, font l'objet de préoccupations importantes en raison de l'exposition quasi-généralisée de la population. L'alimentation, incluant les boissons, représente le vecteur d'exposition principal pour la majeure partie de la population. La toxicité des PFAS est encore mal connue, mais des effets nocifs et toxiques sur le métabolisme humain, pouvant aller jusqu'à la cancérogénicité ou la reprotoxicité, ont été observés pour plusieurs PFAS.

La Directive européenne 2020/2184 qui concerne la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) a été révisée pour suivre la présence des PFAS dans les analyses de l'eau et cible 20 molécules. L'arrêté basé sur la directive européenne (transposition en droit français en décembre 2022) fixe la limite de qualité à 0,10 µg/L pour la somme de ces 20 molécules dans les EDCH ; pour les eaux brutes de toutes origines utilisées pour la production d'EDCH, la limite est de 2µg/l. L'instruction du ministère du Travail, de la Santé, des Solidarités et des Familles du 19 février 2025 précise les modalités de gestion des situations de non-conformités.

La présence de PFAS dans des captages d'eau utilisés pour la production d'EDCH peut notamment résulter de contaminations liées aux usages de mousses d'extinction d'incendie, aux rejets de stations d'épuration ou d'installations industrielles, aux épandages de produits phytopharmaceutiques appartenant à la famille des PFAS ou encore aux épandages de fertilisants (y.c. des boues) contaminés par des PFAS.

Après la recherche des PFAS dans les rejets aqueux industriels engagée en 2023, la déclinaison du plan d'action interministériel PFAS a conduit la ministre chargée de l'environnement à prioriser en 2025 l'action de l'inspection des installations classées afin qu'une mesure de la quantité de PFAS, pour les substances pour lesquelles une méthodologie de mesure est reconnue à date, soit réalisée dans les boues de vingt stations d'épuration d'installations classées pour la protection de l'environnement qui sont épandues comme matière fertilisante

dans le cadre d'un plan d'épandage. Par ailleurs, l'épandage de boues industrielles est suspecté d'être à l'origine de plusieurs cas de contamination d'EDCH par les PFAS détectés récemment.

Or il n'existe à l'heure actuelle aucune valeur réglementaire française s'appliquant aux teneurs en PFAS des boues destinées à l'épandage, ou plus généralement des matières fertilisantes. Le rapport IGEDD n° 014323-01 de décembre 2022 recommandait ainsi que la valorisation par épandage de boues soit interdite à compter d'un certain niveau de concentration en PFAS.

Aussi, nous souhaitons que vous proposiez des valeurs guides pour la gestion des fertilisants (boues notamment) contaminés par des PFAS qui seraient compatibles avec les limites suscitées pour ce qui concerne les EDCH et les eaux brutes de toutes origines destinées à la production d'EDCH, ainsi qu'avec les valeurs indicatives produites par la Commission européenne concernant les teneurs en PFAS dans les productions végétales destinées à l'alimentation (recommandation (UE) 2022/1431) et les teneurs maximales en substances PFAS dans les denrées alimentaires d'origine animale (règlement (UE) 2023/915). A cette fin, vous pourrez vous appuyer sur les travaux du BRGM et de l'INERIS sur le comportement des PFAS dans les sols et les eaux souterraines. Nous vous remercions de nous communiquer les résultats de vos travaux d'ici fin 2025.

Le Directeur général de la prévention des risques

Cédric Bourillet


R.o. Le Directeur général de la santé
Didier Lepelletier


La Directrice Générale Adjointe
de la Santé

Sarah SAUNERON

Annexe 2 : Bibliographie

- ADEME, SYPREA, FP2E, INERIS, 2007, *Evaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des boues de stations d'épuration. Application de la méthodologie relative aux substances chimiques à une filière de boues issues d'une STEP urbaine.*
- AGRESTE, SSP du ministère chargé de l'agriculture, 2014 : *Enquête pratiques culturales 2011 : principaux résultats.*
- ANSES, 2025a, *Campagne nationale de mesure de l'occurrence de composés émergents dans les eaux destinées à la consommation humaine : PFAS et US-PFAS, campagne 2024-2025.*
- ANSES, 2025b, *Composés per et polyfluoroalkylés (PFAS) dans différents compartiments : bilan de la contamination et catégorisation en vue de leur surveillance.*
- ASTEE, 2020, *Destination des boues d'épuration dans différents pays de l'Union Européenne.*
- BRGM, 2024a, *Etat des lieux des sources directes d'émissions en PFAS.*
- BRGM, 2024b, *Note de synthèse sur le projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les matrices solides.*
- CGEDD-CGAAER, 2015, *Les épandages sur terres agricoles des matières fertilisantes d'origine résiduaire. Mission prospective sur les modalités d'encadrement et de suivi réglementaire.*
- Costello and Lee, *Sources, fate, and plant uptake in agricultural systems of per-and polyfluoroalkyl substances.* Current Pollution Reports 10, 2020.
- ECHA, 2016, *Guidance on information requirements and chemical safety assessment : Chapter R.16 – Environmental exposure assessment.*
- ECHA, 2023, *ECHA publishes PFAS restriction proposal.*
- EFSA, 2020, *Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food.*
- EGLE, 2021, *Land application of biosolids containing PFAS: interim strategy.*
- EGLE, 2022, *Land application of biosolids containing PFAS : interim strategy.*
- EPA, 2024, *Method 1633, Revision A : Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS.*
- ESPP (European Sustainable Phosphorus Platform), 2015, *Phosphorus Project Denmark.*
- Gouvernement du Canada, 2025, *Rapport sur l'état des substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques (SPFA).*
- Haut-commissariat à la stratégie et au plan, 2025, *Les politiques publiques de santé environnementale : les PFAS. Rapport pour l'Assemblée nationale.*
- Haut conseil de la santé publique, 2024, *Gestion des risques sanitaires liés à la présence de composés PFAS dans les EDCH.*
- ICARE & consult, 2020, *Etude Prospective fixant des objectifs stratégiques d'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables.*
- INERIS, 2024, *Comportement des substances per et polyfluoroalkylées (PFAS) dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'avancement : synthèse bibliographique menée par l'INERIS en 2023 et perspectives.*
- INERIS, 2025a, *Identification des principales voies d'exposition aux PFAS.*

INERIS, 2025b, *Parangonnage en matière de contrôle des PFAS dans les rejets industriels*.

INERIS, 2025c, *Valeurs de fond des PFAS dans les sols européens et cadre de gestion des sols contaminés par les PFAS sur le territoire flamand*.

INRA-CNRS-Irstea, 2014, Expertise scientifique collective, *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques*. Etude dite ESCO-MAFOR.

Jensen and Jepsen, *The production, use and quality of sewage sludge in Denmark*, Waste Management, 2005.

Lazcano et al., *Characterizing and comparing per and polyfluoroalkyl substances in commercially available biosolid and organic non-biosolid-based products*. Environmental Science and Technology, 2020.

Markets and Markets, *Canadian Municipal Biosolids Market*, 2023.

MELCCFP (Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec), 2025a, *Sélection des SPFA incluses dans les paramètres investigateurs et préventifs de la catégorie « I » du Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – Note technique 2025*.

MELCCFP, 2025b, *Impacts théoriques des seuils établis pour les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA) incluses dans les paramètres investigateurs et préventifs du Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – Note technique 2025*, 2025.

MELCCFP, 2025c, *Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes, et ses modifications à 4 règlements : analyse d'impact réglementaire*, 2025.

Milieu Ltd, RPA, WRc, 2010, *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land*, Final Report under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076,

Munoz et al., 2022, *Target and nontarget screening of PFAS in biosolids, composts, and other organic waste products for land application in France*. Environmental Science and Technology, 2022.

Naturskyddsforeningen, 2022, *PFAS-förorenat dricksvatten i Sverige*.

Naturvardsverket, 2025, *Avloppsslam pa jordbruksmark anvandning innehall och spridningsplatser*.

NYSDEC (New York State Department of Environmental Conservation), 2010, *CP – 51 / Soil Cleanup Guidance*.

OIEAU (Office international de l'eau), 2024, *Etude bibliographique PFAS dans les eaux usées*.

ONEMA, INERIS, 2012, *Panorama des projets de recherche et perspectives sur la problématique des micropolluants dans les boues de stations de traitement des eaux usées urbaines*.

OVAM, 2016, *Afleiding en onderbouwing ontwerpnormen voor gebruik grondstoffen als bodemverbeterend middel/meststof in Vlaanderen*.

OVAM, 2021, *Afleiden van streefwaarden voor perfluorverbindingen en enkele andere 'emerging contaminants. Deel 1. Analyses*.

OVAM, 2022, *Toetsingswaarden voor PFAS in afvalstoffen bestemd voor gebruik in of als bodemverbeteraar of meststof publicatiedatum*.

OVAM, 2024, *Bepalen van streefwaarden voor pfas in ground en grondwater*.

RISE (Research Institutes of Sweden), 2020, *Ökad slamavandning i Sverige*.

Saliu and all, 2024, *PFAS profiles in biosolids, composts, and chemical fertilizers intended for agricultural land application in Quebec (Canada)*, Journal of Hazardous Materials, Volume 480, 2024.

Saliu and Sauv , 2024, *A review of per- and polyfluoroalkyl substances in biosolids: geographical distribution and regulations*, *Frontiers in Environmental Chemistry*, Sec. Sorption Technologies. Vol. 5, 2024, DO - 10.3389/fenvc.2024.1383185,

Santé Publique France, 2019, *Impr gnation de la population française par les composés perfluorés : Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016*.

SGI (Statens geotekniska Institut), 2015, *Preliminary guideline values for PFAS in soil and groundwater*.

SPW (Service public de Wallonie), 2025, *Rapport PFAS*.

STAHL et al, 2018, *Concentrations and Distribution Patterns of Perfluoroalkyl Acids in Sewage Sludge and in Biowaste in Hesse, Germany*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol 66/Issue 39,

SYNTEAU, 2026, *Nouvelle réglementation européenne sur le traitement des eaux usées : l'ampleur du défi pour la France*.

Annexe 3 : Liste des personnes rencontrées

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
SCHMITT Alby	IGEDD	Inspecteur général	03/09/2025
KALTEMBACHER Henri	BEA-RI	Directeur	04/09/2025
LEFRANC Agnès	DGPR	Sous directrice santé et environnement	10/09/2025
RAUD Géraldine	DGPR	Chef du bureau de l'appui aux politiques publiques	10/09/2025
VEAUX Clarisse	DGPR	Cheffe de projet PFAS, chargée du copilotage du plan interministériel PFAS	10/09/2025
TELLECHEA Laurent	DEB	Adjoint au sous-directeur de la protection et de la gestion de l'eau, des ressources minérales	24/09/2025
NICOLAS Véronique	DEB	Cheffe du bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles	24/09/2025
VENTURINI Christophe	DEB	Adjoint de la cheffe du bureau de la lutte contre les pollutions	24/09/2025
FERNANDEZ Elodie	DEB	Chargée d'études au sein du bureau de la lutte contre les	24/09/2025
BENOIT Pierre	INRAE	Coordinateur de l'observatoire SOERE PRO	26/09/2025
POSTIC Claire	DGAL	Sous-directrice adjointe de la sécurité sanitaire des aliments	29/09/2025
PRUNAUX Olivier	DGAL	Sous-directeur adjoint de la santé et protection des végétaux	29/09/2025
PRINTZ Bruno	DGAL	Chef du bureau des intrants et du biocontrôle	29/09/2025

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
THEVENIN Nicolas	DGAL	Chargé d'études au bureau des intrants et du biocontrôle	29/09/2025
DUNAND Arnaud	DGPE	Sous-directeur de la performance environnementale et de la valorisation des	30/09/2025
STEINMANN	DGPE	Chef du bureau eau, sols, économie circulaire	30/09/2025
ASPAR Juliette	DGPE	Adjointe du chef du bureau eau, sols, économie circulaire	30/09/2025
POULAIN Cécile	DGPE	Chargée de mission économie circulaire	30/09/2025
CROYERE Adeline	DGS	Sous-directrice de la prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation	01/10/2025
LEMAITRE Cécile	DGS	Sous-directrice adjointe de la prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation	01/10/2025
LECOQ Pierre	DGS	Chef du bureau de l'environnement, extérieur et produits chimiques	01/10/2025
TCHILIAN Nathalie	DGS	Chargée de mission dans le bureau de l'environnement, extérieur et produits chimiques	01/10/2025
PAPOUIN Matthieu	DREAL AURA	Directeur adjoint	01/10/2025
REVENIER Clémentine	DREAL AURA	Chef du service risques industriels	01/10/2025
CHARLEMAGNE Isabelle	DREAL AURA	Chef de pôle adjointe	01/10/2025
MARIE Christophe	DRAAF AURA	Responsable de l'unité santé des végétaux	01/10/2025

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
DURAND Christèle	DRAAF AURA	Chargée de missions pollutions environnementales	01/10/2025
DRUET Céline	ANSES	Directrice adjointe de la direction évaluation des risques	10/10/2025
MERCIER Thierry	ANSES	Directeur de l'évaluation des produits réglementés	10/10/2025
TACK Karine	ANSES	Cheffe d'unité	10/10/2025
DUMENIL Jean-Rémi	ANSES	Coordinateur d'expertises scientifiques	10/10/2025
CARNE Géraldine	ANSES	Coordinatrice d'expertises scientifiques	10/10/2025
BOURIN Marie	ITAVI	Chef de Projet Qualité des Produits	17/10/2025
CAMPONOVO Aurélie	Institut Français de la Vigne et du Vin	Responsable sécurité alimentaire	17/10/2025
FEDER Frédéric	CIRAD	Directeur de recherches	17/10/2025
DELESTRE Arnaud	Chambres d'Agriculture France	Président de la chambre d'agriculture de l'Yonne et 1er vice-président de Chambres d'Agriculture France en charge de l'environnement	17/10/2025
ERNOU Frédéric	Chambres d'Agriculture France	Responsable du service agro environnement à Chambres d'Agriculture France	17/10/2025
LOBO Elena	Chambres d'Agriculture France	Chargée de mission éco circulaire et agro environnement, service agro environnement à Chambres d'Agriculture France	17/10/2025

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
LACARCE Eva	ITAB	Cheffe de projet Agronomie Durabilité/Sol	24/10/2025
VIDAL Rodolphe	ITAB	Coordinateur du pôle Qualités et Transformation	24/10/2025
SAUVE Sébastien	Université de Montréal (Canada)	Professeur en chimie environnementale, correspondant de l'Académie d'agriculture de France	28/10/2025
CAZIN BOURGUIGNON Patrick	DREAL GE	Directeur adjoint	29/10/2025
LAJUGIE Pascal	DREAL GE	Chef du service prévention des risques anthropiques	29/10/2025
KHEDJOUT Mohamed	DREAL GE	Chef du pôle risques industriels chroniques santé environnement	29/10/2025
GOURDON Denis	DRAAF GE	Directeur adjoint	29/10/2025
MOINECOURT Maud	DRAAF GE	Coordnatrice police sanitaire unique au sein du service régional de l'alimentation	29/10/2025 09/12/2025
MARTINON Luc	CNRS	Coordinateur du PFAS Data Hub	31/10/2025
BRULE Hervé	DREAL CVL	Directeur	04/11/2025
GOBLET Maud	DREAL CVL	Adjointe du chef du service risques chroniques et technologiques	04/11/2025
LORTHOIS Aymeric	DREAL CVL	Adjoint du chef du service Eau, Biodiversité, Risques Naturels et Loire	04/11/2025
BISPO Antonio	INRAE	Directeur de recherche INRAE, Directeur de l'UMR Info&Sols, en charge de l'animation du RMQS	12/11/2025

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
BRIOT- DIETSCH Anne	Société Casc4de	Chef de projet	17/11/2025
DUCIEL Laura	Société Casc4de	Ingénieur de recherche	17/11/2025
FRANCOIS Patrice	DDT Loir et Cher	Directeur adjoint	18/11/2025
HESSE Anne-Sophie	DDT Loir et Cher	Cheffe de l'unité ressources en eau et milieux aquatiques	18/11/2025
SEGUI Alexandre	VEOLIA	Directeur des services aux collectivités et industriels – Veolia agriculture	19/11/2025 12/12/2025
TREDAN Sylvain	VEOLIA	Directeur relations institutionnelles - Veolia eau France	19/11/2025 12/12/2025
ESCHASSERIAUX Ghislain	VEOLIA	Responsable des affaires publiques – recyclage et valorisation des déchets	19/11/2025
PAGOTTO Christelle	VEOLIA	Ingénieure, experte technique et réglementaire, direction technique Veolia eau - France	19/11/2025
TELOUK Agnès	CARSO	Directrice technique BU environnement	20/11/2025
LECHEVALLIER Christophe	CARSO	Responsable commercial LANAE	20/11/2025
GUILLOTIN Marie-Laure	CARSO	Responsable technique Pôle environnement - LANAE	20/11/2025
MURRAY Glenn	Agence canadienne d'Inspection des Aliments	Gestionnaire national, section innocuité des engrais	21/11/2025
DECAN Nathalie	Agence canadienne d'Inspection des Aliments	Chef d'équipe, bureau de l'innocuité des engrais	21/11/2025

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
GENERET Alfred	SPF (Belgique)	Attaché, chargé de l'autorisation de la mise sur le marché belge	24/11/2025
LUYS Pieter	SPF (Belgique)	Président du groupe de travail administratif sur les PFAS	24/11/2025
NYS Florence	UNIFA	Déléguée nationale	25/11/2025
CATRYCKE Florence	UNIFA	Directrice Réglementation et Normalisation	25/11/2025
GREAUD Lauriane	AQUAREF	Directrice du programme AQUAREF	26/11/2025
GHESTEM Jean-Philippe	BRGM/AQUAREF	Chef de projet Chimie Environnementale - Direction de l'Eau / Unité Qualité des Eaux Souterraines	26/11/2025
TOGOLA Anne	BRGM/AQUAREF	Chef de projet Chimie Environnementale - Direction de l'Eau / Unité Qualité des Eaux Souterraines	26/11/2025
TIPREZ Stéphanie	AFAIA	Directrice	04/12/2025
PLANQUES Benoît	AFAIA	Président d'honneur	04/12/2025
VANAKEN Niko	OVAM – Agence gouvernementale	Responsable d'équipe	08/12/2025
SAUVAT Albane	DRAAF GE	Adjointe du chef du service régional de l'alimentation	09/12/2025
GENDEBIEN Anne	SPW Wallonie	Attachée au département des sols	11/12/2025
JOSIAUD Jean-Luc	SYPREA	Président de SYPREA et président de VOLTERRA	

Nom Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
MARONNE Philippine	SYPREA	Chargée de mission Valorisation organique	12/12/2025
LEFEBVRE Hervé	SYPREA/SAUR	Directeur de la branche valorisation - SAUR	12/12/2025
BIGUEREAU Justine	SILAB	Consultante au cabinet d'affaires SILAB et accompagnatrice de SYPREA dans les relations institutionnelles	12/12/2025
TAMPON Pascal	SYPREA/SUEZ	Directeur développement	08/01/2026
SNIDARO Denis	SUEZ	Directeur technique adjoint SUEZ Eau France	08/01/2026
VINCENT Rodolphe	SUEZ	Responsable des affaires publiques en charge de l'eau	08/01/2026
LEREAU Laure	SUEZ	Responsable nationale réglementation SUEZ Recyclage	08/01/2026
ROUSSEL Leslie	SUEZ	Ingénieur environnement SUEZ Recyclage et valorisation	08/01/2026
ROUSSET Denis	Agence de l'Eau Loire Bretagne	Directeur adjoint des politiques d'intervention	13/01/2026
PARISI Sandra	Agence de l'Eau Loire Bretagne	Chargée de mission « Collectivités » et « réduction des micropolluants dans les	13/01/2026
DESPAX Vincent	Agence de l'Eau Loire Bretagne	Chargé d'études données et référentiels sur l'assainissement	13/01/2026
MERCURE-GODIN Vanessa	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements	Conseillère en gestion des matières résiduelles - Direction de l'expertise en valorisation et élimination	27/01/2026
ANGELIER Ariane	IGEDD	Inspectrice	2025

Annexe 4 : Liste des sigles utilisés

6 :2FTS	Sulfonate de fluorotélomère
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
AGEC	Anti gaspillage pour une économie circulaire (loi AGECE)
AMM	Autorisation de mise sur le marché
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARS	Agence régionale de santé
BDREP	Base de données du registre des émissions polluantes et des déchets
BEA-RI	Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture, et des espaces ruraux
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
DAEI	Direction des affaires européennes et internationales
DCE	Directive cadre sur l'eau
DDT	Direction départementale des territoires
DEB	Direction eau et biodiversité
DERU	Directive Eaux Résiduaire Urbaines
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGPE	Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
ECHA	Agence européenne des produits chimiques
EDCH	Eaux destinées à la consommation humaine
EFSA	Autorité européenne de sécurité des aliments
HCSP	Haut conseil de santé publique
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement

IGEDD	Inspection générale de l'environnement et du développement durable
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
IOTA	Installations, ouvrages, travaux et activités
ITAB	Institut de l'agriculture et de l'alimentation biologiques
ITAVI	Institut technique des filières avicole, cunicole, piscicole
MAFOR	Matières fertilisantes d'origine résiduaire
MFSC	Matières fertilisantes et supports de cultures
MTE	Ministère de la transition écologique (pour MTEBNICN)
MTEBNICN	Ministère de la transition écologique, de la biodiversité, des négociations internationales sur le climat et la nature
OCDE	Organisation de coopération et développement économiques
PCI	Pouvoir calorifique Inférieur
PFAA	Acides perfluoroalkylés
PFAS	Substances per et polyfluoro alkylées
PFBA	Acide perfluorobutanoïque
PFBS	Acide perfluorobutanesulfonique
PFCA	Acides perfluorés carboxyliques
PFDA	Acide perfluorodécanoïque
PFDS	Acide perfluorodécane sulfonique
PFDoDA	Acide perfluoro-dodecanoïque
PFDoDS	Acide perfluorododecane sulfonique
PFHpA	Acide perfluoro-n-heptanoïque
PFHpS	Acide perfluoroheptane sulfonique
PFHxA	Acide perfluorohexanoïque
PFHxS	Acide perfluorohexanesulfonique
PFNA	Acide perfluorononanoïque
PFNS	Acide perfluorononane sulfonique
PFOA	Acide perfluorooctanoïque
PFOS	Acide perfluorooctanesulfonique
PFPeA	Acide perfluoro-n-pentanoïque
PFPeS	Acide perfluoropentane sulfonique
PFSA	Acides perfluorés sulfoniques
PFTTrDA	Acide perfluorotridecanoïque
PFTTrDS	Acide perfluorotridecane sulfonique

PFUnDA	Acide perfluoro-n-undécanoïque
PFUnDS	Acide perfluoro undecane sulfonique
PKGC	Pratiques culturales sur les grandes cultures
REACH	Registration, evaluation and authorisation of chemicals
RMQS	Réseau de mesures de la qualité des sols
RSDE	Recherche et réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SPF	Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement (Belgique)
STEU	Stations de traitement des eaux usées
SVHC	Substances of Very High Concern
TFA	Acide trifluoroacétique
UNIFA	Union des industriels de la fertilisation

Annexe 5 : Liste des tableaux et figures

Table des tableaux du corps du rapport

Tableau 1 : estimation des tonnages annuels (2022) des différents types de boues (source Sdes)	22
Tableau 2 : répartition des effectifs de STEU, des capacités de traitement, des débits journaliers traités et de la production de boues selon les tranches nominales de STEU (source BdD Assainissement collectif).....	23
Tableau 3 : valorisation des boues de STEU (source BdD Assainissement collectif).....	23
Tableau 4 : tonnage annuel des différentes boues d'ICPE (SDES).....	24
Tableau 5 : destination des différentes boues d'ICPE (MTE-DGPR/ bureau des déchets).24	
Tableau 6 : teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 EH dans le cadre du RSDE 2022 LB : analyse statistique des valeurs pour chacun des cinq PFAS et pour la somme des cinq PFAS.	31
Tableau 7 : confrontation des teneurs en PFAS des boues de STEU mesurées dans le cadre du RSDE LB 2022 aux seuils des réglementations de différents pays.	32
Tableau 8 : valeurs de fond des teneurs en PFAS des sols issus d'études belges, néerlandaises et allemandes (source rapport INERIS 2025 « Valeur de fond des PFAS dans les sols européens »).....	34
Tableau 9 : PFAS encadrés dans les boues de stations d'épuration, dans les pays étudiés et valeurs seuils	41
Tableau 10 : axes de gestion activés par les réglementations des pays objets du parangonnage.....	42
Tableau 11 : nature des seuils (réglementaires, incitatifs, volontaires) introduits dans les cadres de gestion des pays objets du parangonnage.....	45

Table des figures du corps du rapport :

Figure 1 : catégories de matières fertilisantes et supports de culture (source DGAL 2024)	16
Figure 2 : catégories de dispenses d'autorisations de mise sur le marché des MFSC prévues par l'article L255-5 du code rural et de la pêche maritime (source DGAL 2024).....	17
Figure 3 : part des MAFOR épandues sur les divers types de grandes cultures et de prairies selon leur provenance (Données Agreste – Enquête PKGC 2011)	25
Figure 4 : destination des boues d'épuration dans différents pays de l'Union Européenne (ASTEE 2020).....	26
Figure 5 : évolution des livraisons des engrais minéraux en France métropolitaine, en tonnes d'éléments nutritifs (Source UNIFA 2024).....	27
Figure 6 : synoptiques d'une station de traitement des eaux usées : (gauche) points	

réglementaires ; (droite) points logiques – (source SANDRE).....	28
Figure 7 : frise temporelle de la mise en œuvre de cadres de gestion des PFAS dans les boues, dans les pays objets du parangonnage (cf annexe 17 pour une frise plus détaillée).....	45
Liste des tableaux et figures des annexes :	
Figure n°1 : utilisations finales des biosolides produits au Canada (M and M, 2023 ⁵⁹)	81
Figure n°2 : destination des boues urbaines produites au Québec en 2023	82
Figure n°3 : gestion des boues de stations d'épuration collectives en Wallonie ⁶⁰	95
Figure n°4 : part des boues de station d'épuration valorisée en agriculture en Suède	102
Figure n°5 : modalités de traitement des boues de STEU au Danemark	106
Figure n°6 : histogramme des sommes de teneurs en 5 PFAS par STEU (moyenne des six échantillons de boue pour une même STEU). Ordonnées en échelle logarithmique à gauche, en échelle naturelle à droite. La couleur de la barre d'une STEU représente son laboratoire d'analyse. Le laboratoire d'analyse représenté en rouge présente des valeurs d'un facteur 10 à 100 supérieures aux valeurs des autres laboratoires.	118
Figure 6a : histogramme des sommes de teneurs en 5 PFAS par STEU (moyenne des 6 échantillons de boue pour une même STEU). Ordonnées en échelle naturelle. La couleur de la barre d'une STEU représente son laboratoire d'analyse (hors laboratoire d'analyse écarté).	120
Figure n°7 : lien entre teneur en PFAS et siccité de l'échantillon	134
Figure n°8 : évolution de la teneur en PFAS et de la siccité au cours de la déshydratation	135
Figure n°9 : variation de la valeur de concentration en PFAS de la boue en fonction de son niveau de déshydratation (taux d'humidité)	135
Figure n° 10 : les techniques d'épaississement	137
Figure n°11 : répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agronomique en 2008 (source Esco MAFOR 2014)	139
Figure n°12 : Frise temporelle détaillée de la mise en œuvre de cadres de gestion des PFAS dans les boues, dans les pays objets du parangonnage (détaille la figure 7 du corps du rapport)	152
Tableau n°1 : nouvelles analyses exigées selon le type de MRF dans le « nouveau » code	83
Tableau n°2 : paramètres PFAS et teneurs maximales associés aux catégories I1 et I2	84
Tableau n°3 : sélection des PFAS comme indicateurs, basés sur la liste des biosolides municipaux canadiens (Extrait de la note technique 2025, source ECC)	85
Tableau n°4 : résumé des impacts théoriques sur les données québécoises, selon 2 versions du paramètre sommatif PFAS	87

Tableau n° 4a : Valorisation des boues produites par les stations d'épuration en Allemagne (source EFA 2024)	91
Tableau n° 5 : analyse statistique des teneurs en PFAS des boues des stations d'épuration au Danemark (résultats sur la base de 215 échantillons de boue)	112
Tableau n°6 : seuils de gestion du PFOA et du PFOS dans les biosolides, dans l'Etat du Michigan	115
Tableau n°7 : valeurs des limites de quantification et pourcentage de mesures sous la limite de quantification. Pour chacun des 6 laboratoires d'analyse (en ligne), valeurs des LQ pour chacun des 5 PFAS (en colonne) et nombre et pourcentage de mesures sous la LQ.	118
Tableau 7a : confrontation des teneurs en PFAS des boues de STEU mesurées dans le cadre du RSDE LB 2022 aux seuils des réglementations de différents pays.	121
Tableau n°8 : tonnage de boues ICPE	140
Tableau n°9 : production de MAFOR en France source ICARE	140
Tableau n°10 : déchets et sous-produits : source CGEDD/CGAAER 2015	140
Tableau n°11 : synthèse des données MAFOR	141
Tableau n°12 : tonnage de boues de STEU source Sdes	142
Tableau n°13 : poids total et poids sec des différentes boues produites	142
Tableau n°14 : production de boues des ICPE	143

Annexe 6 : Fiches de synthèse par pays

6.1. CANADA - QUEBEC

1. Éléments de contexte et pratiques concernant la valorisation des MFSC

- Une culture développée de valorisation des « biosolides »

Les biosolides sont définis⁶¹ au Canada comme le principal produit organique solide issu du traitement des eaux usées qui peut être valorisé. Par facilité, les termes « biosolides » et « boues » sont utilisés ici de manière interchangeable.

Les biosolides sont généralement reconnus comme des matières intéressantes d'un point de vue agronomique, nécessitant d'être valorisées compte tenu des enjeux environnementaux, économiques et de souveraineté, tout en étant encadrées réglementairement depuis des décennies. À l'exception du Nouveau-Brunswick, toutes les provinces canadiennes autorisent l'épandage de boues traitées.

Sur l'ensemble du Canada, 989 000 tonnes de biosolides sont produites annuellement¹ : plus de 50 % sont épandus sur des terres agricoles (35 % pour la production de cultures et 23 % pour le pâturage) ; 27% sont enfouis ; seulement 15% sont incinérés.

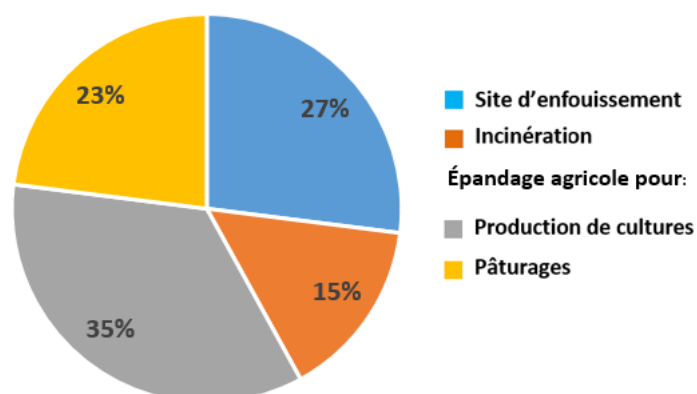


Figure n°1 : utilisations finales des biosolides produits au Canada (M and M, 2023⁶²)

Concernant spécifiquement le Québec : 39% des boues municipales produites sont épandues sur les sols agricoles⁶³. Au total, 60% des boues municipales sont recyclées, intégrant la méthanisation et le compostage.

⁶¹ Rapport sur l'état des substances perfluoroalkyliques et polyfluoroalkyliques, Environnement et changement climatique Canada, Santé Canada, mars 2025.

⁶² Canadian Municipal Biosolids Market. Markets and Markets, 2023.

⁶³ Bilan 2023 de la gestion des matières résiduelles au Québec.

<https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2023-complet.pdf>

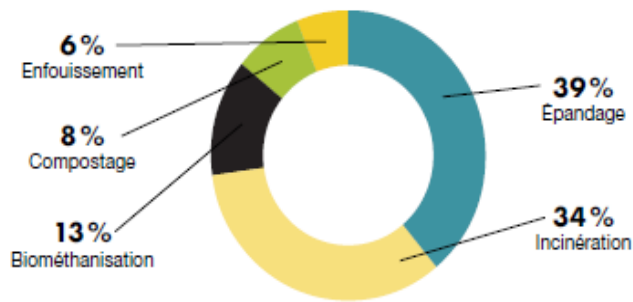


Figure n°2 : destination des boues urbaines produites au Québec en 2023

- **Répartition des compétences gouvernementales et provinciales sur les matières fertilisantes**

Le Gouvernement fédéral est chargé d'établir des seuils réglementaires nationaux dans le cadre de la Loi sur les engrais (Fertilizers Act). Ces seuils s'appliquent à tous les produits vendus ou importés à l'échelle du pays.

Les provinces peuvent cependant légiférer et fixer des seuils et règles additionnelles dans le respect de leurs compétences territoriales en matière d'agriculture et d'environnement. Les exigences fixées par les provinces en matière de déchets et de MFSC peuvent varier significativement d'une région à l'autre.

- **Un élément déclencheur de la réglementation en 2023**

Le Maine (USA) interdit complètement l'épandage de boues sur son territoire dès avril 2022, en lien avec la découverte de contaminations par les PFAS ayant conduit à la fermeture d'exploitations laitières. Cette interdiction soudaine conduit, entre autres conséquences, à des flux significatifs de boues exportées vers le Canada voisin, en l'absence de réglementation canadienne.

Plus généralement, d'après les données d'importation de l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA), les importations de biosolides des États-Unis vers le Canada n'ont cessé d'augmenter au cours de la dernière décennie.

En parallèle, des reportages canadiens mettent en cause en 2023 l'épandage de boues contaminées par des PFAS sur certaines terres agricoles et se font le relais de fortes préoccupations sociétales. Ces événements participent à l'instauration d'un cadre réglementaire spécifique aux PFAS dans les boues, tant par les autorités canadiennes que par les autorités québécoises.

2. **Encadrement réglementaire et seuils fixés pour les PFAS dans les MFSC**

- **Canada**

L'ACIA réglemente la vente et l'importation d'engrais sous forme de biosolides. En octobre 2024, elle a mis en œuvre une norme provisoire de 50 µg/kg de MS pour le PFOS dans les biosolides, le respect de ce seuil conditionnant l'importation ou la vente au Canada en tant qu'engrais, ce qui permet de réguler les flux de boues importées d'origine américaine notamment. Cette norme était directement inspirée de la réglementation américaine.

Une analyse des biosolides canadiens, basée sur les résultats de la surveillance du Gouvernement et des analyses facultatives effectuées par l'industrie de façon préliminaire à l'introduction des réglementations, a par ailleurs indiqué que plus de 90 % des biosolides produits au Canada présentent une concentration inférieure à ce seuil de 50 µg/kg de MS pour le PFOS.

- **Québec**

Le Gouvernement du Québec instaure en 2023 un moratoire temporaire sur l'épandage agricole de

biosolides importés. Ce moratoire vise à assurer la protection des sols québécois le temps qu'un mécanisme de contrôle des PFAS soit instauré dans les MFSC importées (il sera levé *a priori* en novembre 2028).

Au Québec, l'utilisation des boues est encadrée depuis plus de 40 ans par un guide portant sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes (MFR) ou ses versions antérieures. Ce guide⁶⁴ offrait un cadre sécuritaire à la filière de valorisation des MFR en fixant des critères de qualité et des conditions d'épandage, tout en rappelant les bénéfices et enjeux de cette valorisation.

L'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur la qualité de l'environnement (LQE) en mars 2018 implique que la mise en œuvre de certaines activités à risque au plan environnemental soit fixée par voie réglementaire. Par conséquent, la quasi intégralité du guide complété de nouvelles dispositions, dont des paramètres intéressant les PFAS, a été reprise dans un « code de gestion des matières résiduelles fertilisantes », publié par le décret 188-2025 du 26 février 2025⁶⁵, et en vigueur depuis le 1^{er} novembre 2025.

Les MRF doivent respecter des critères de qualité regroupés dans des catégories :

- la teneur en contaminants chimiques (C),
- la teneur en agents pathogènes (P),
- la charge olfactive (O),
- la teneur en corps étrangers (E).

Les PFAS sont intégrés dans une nouvelle catégorie, nommée I pour « critères investigateurs préventifs », destinée à terme à inclure d'autres contaminants.

Les paramètres analytiques à contrôler font l'objet d'un ciblage par type de MRF : le tableau ci-dessous illustre les nouvelles analyses demandées par le code de gestion des MRF.

		Type de MRF				
		ACM	Autres MRF minérales ²	Biosolides municipaux, papetiers, résidus de désencrage, procédés mixtes et MRF dérivées	Autres résidus ³	Toute autre MRF ⁴
• Nouvelles analyses exigées	Sodium ⁵			X		X ⁶
	Calcium et magnésium	X	X	X	X	X
	Soufre	X	X		X	
	Sulfate		X		X	
	SPFA			X		

Tableau n°1 : nouvelles analyses exigées selon le type de MRF dans le « nouveau » code

Les critères de qualité fixés pour les PFAS ne concernent que les « *biosolides municipaux, papetiers, résidus de désencrage, procédés mixtes et MRF dérivées* ». Autrement dit, ces nouveaux critères ne s'imposent pas pour les MFSC minérales, les amendements calciques et magnésiens, et d'autres MFSC telles que les matières végétales et les boues issues d'autres filières industrielles.

Trois paramètres PFAS ont été considérés comme pertinents :

- la teneur en PFOS,

⁶⁴ Version 2015 du guide : https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf

⁶⁵ https://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/fileadmin/gazette/pdf_encrypte/lois_reglements/2025F/85093.pdf

- la teneur en PFOA,
- la teneur d'une somme de 11 PFAS⁶⁶.

L'approche retenue par le Québec est de fixer deux seuils pour chaque paramètre et pour chaque catégorie :

- un seuil intermédiaire en deçà duquel l'utilisation de la MFSC n'est soumise à aucune restriction,
- un seuil maximal au-delà duquel la valorisation de la MFSC n'est plus possible.

Les biosolides dont la teneur en PFAS est comprise entre le seuil intermédiaire et le seuil maximal font l'objet d'un suivi et d'une restriction d'utilisation.

Paramètres investigateurs préventifs (catégorie I)	Catégorie I1 Teneur maximale (µg/ kg MS)	Seuil intermédiaire. (µg/kg MS)	Catégorie I2 Teneur maximale (µg/ kg MS)	Seuil maximal (µg/kg MS)	Hors catégorie
PFOS	≤ 11	11	11 < T ≤ 50	50	> 50
PFOA	≤ 8	8	8 < T ≤ 38	38	> 38
Somme de 11 PFAS	≤ 120	120	120 < T ≤ 600	600	> 600
	Aucune restriction d'usage		Utilisation encadrée		Interdiction de valorisation en milieu agricole ou sylvicole ⁶⁷

Tableau n°2 : paramètres PFAS et teneurs maximales associés aux catégories I1 et I2

Un biosolide classé I2 verra son utilisation encadrée par des **mesures de mitigation**, identiques aux mesures prises pour les catégories C2 (contaminants chimiques mieux documentés, parmi lesquels des métaux).

Ces mesures sont jugées appropriées dans l'attente du développement de la connaissance, et impliquent notamment⁶⁸ :

- une régulation des doses d'épandage permises, ne devant pas excéder l'équivalent d'une moyenne de 4,4 tonnes de MS ha/an, calculée sur une période de trois années consécutives,
- des distances séparatrices plus grandes par rapport aux cours d'eau et aux habitations,
- l'interdiction d'épandage sur des cultures destinées à l'alimentation humaine et sur les pâturages.

Le code de gestion précise enfin que les analyses de PFAS dans les biosolides doivent être réalisées *a minima* une fois par période de 12 mois par des laboratoires accrédités, ou par défaut des laboratoires répondant aux exigences de la norme internationale ISO/CEI 17025, utilisant préférentiellement la méthode américaine US EPA 1633 (citée en partie 2.4.1). Il définit la méthode de calcul à employer pour la somme des 11 PFAS considérés.

3. Méthode de détermination de ces seuils

Le Canada a opté pour le choix d'un seuil (50 µg/kg de MS) pour un seul composé : le PFOS, considéré comme un indicateur suffisant et représentatif du niveau de contamination en PFAS des boues. Il a été choisi en prenant pour référence le seuil le plus restrictif retenu par l'État du Michigan

⁶⁶ PFBA, PFPeA, PFHxA, PFDA, PFDS, 6:2 FTS, 5:3 FTCA, 7:3 FTCA, NmeFOSAA, NEtFOSAA, FHUEA.

⁶⁷ Sous certaines conditions strictes, les MFSC hors catégorie peuvent être utilisées sur des sites dégradés, tels que des sites miniers.

⁶⁸Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – guide de référence.

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/code-gestion-mrf/code-gestion-matieres-residuelles-fertilisantes-guide-reference-cgmrf.pdf>

(USA), permettant une utilisation des boues sans limitation d'usage.

La motivation première a été l'établissement d'une barrière afin de stopper l'exportation des États-Unis vers le Canada de biosolides qui ne seraient plus conformes à la réglementation américaine.

L'approche retenue par le Québec a conduit à fixer des seuils plus restrictifs que le seuil canadien. Cette approche, fondée sur une documentation étayée, est présentée ci-après.

▪ Choix d'une approche par paliers :

Cette approche par paliers, se déclinant en fonction de deux seuils, est similaire à l'approche couramment appliquée pour d'autres contaminants, et adoptée par l'État du Michigan depuis plusieurs années. Le retour d'expérience du Michigan soutient l'hypothèse du niveau de contamination en PFOS en tant qu'indicateur solide de la concentration totale des PFAS dans les biosolides, et montre l'efficacité d'une approche graduée pour réduire les teneurs en PFOS des boues⁶⁹.

▪ Sélection des composés PFAS et évaluation des impacts :

La méthode de sélection des PFAS à prendre en compte dans la réglementation a fait l'objet d'une note publiée⁷⁰.

Elle s'appuie sur plusieurs éléments de connaissance et de métrologie, dont :

- la connaissance des composés PFAS prévalents dans les analyses de boues essentiellement urbaines, issues des données canadiennes et québécoises disponibles, dont des études menées par l'Université de Montréal,
- la capacité analytique actuelle au sein du Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs au Québec (MELCCFP), et notamment les limites de détection et de quantification pour chaque PFAS choisi.

Le tableau ci-dessous est directement extrait de la note technique précitée.

SPFA initialement proposées comme indicateurs dans le cadre de la consultation d'experts sur l'établissement d'un seuil SPFA dans les MRF réalisée par le ministère à l'automne 2023.					
SPFA	Fréquence de détection (%)	Concentration maximale (µg/kg en poids sec)	Présence ou absence de la SPFA suivant la méthode d'analyse du MELCCFP en 2024	Sélection*	Incluse comme indicateur ou critère d'inclusion non atteint
PFOS	96 %	96	Présence	Incluse	Indicateur
PFHxA	72 %	7,9	Présence	Exclue (incluse)	Indicateur**
PFOA	64 %	42	Présence	Incluse	Indicateur
PFDA	78 %	27	Présence	Incluse	Indicateur
MeFOSAA	80 %	23	Présence	Incluse	Indicateur
NEtFOSAA	83 %	21	Présence	Incluse	Indicateur
6:2 FTS	9 %	53	Présence	Incluse	Indicateur
8:2 FTS	5 %	5,2	Présence	Exclue	Récurrence inférieure à 40 % et maximum inférieur à 10 µg/kg base sèche (i)
5:3 FTCA	74 %	325	Présence	Incluse	Indicateur

Tableau n°3 : sélection des PFAS comme indicateurs, basés sur la liste des biosolides municipaux canadiens (Extrait de la note technique 2025, source ECC)

⁶⁹ Land application of biosolids containing PFAS : interim strategy. EGLE (Département de l'Environnement des Grands Lacs et de l'Énergie du Michigan), 2022.

<https://www.michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/biosolids/pfas-related>

⁷⁰ Sélection des SPFA incluses dans les paramètres investigateurs et préventifs de la catégorie « I » du Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – Note technique 2025.

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/articles/selection-spfa.pdf>

La liste des PFAS retenus est évolutive et tient compte des connaissances scientifiques à date et de l'évolution des méthodes analytiques.

Compte tenu de ces éléments, le PFOS et le PFOA ont été rapidement sélectionnés en tant qu'indicateurs individuels, étant les PFAS les plus étudiés dans le monde et ceux dont l'impact sanitaire est bien documenté.

Le Québec s'est attaché à prendre en compte un troisième indicateur correspondant à une somme élargie de composés. Une analyse des impacts théoriques⁷¹, également publiée, a été menée en fonction de deux versions du paramètre sommatif PFAS :

- une 1^{ère} version basée sur les 11 composés PFAS retenus dans la rédaction du code de gestion des MFR,
- une 2^{ème} version élargie aux 35 composés PFAS analysables par le MELCCFP, en sus du PFOS et du PFOA, à la date des travaux.

Limites : il est opportun de souligner que cette liste de 37 composés exclut des composés PFAS pourtant fortement quantifiés dans certaines études scientifiques⁷² menées par l'université de Montréal, mais considérés comme insuffisamment détectables selon la méthode mise en œuvre par le MELCCFP⁷³.

C'est le cas des composés de la famille des diPAP, tels que le 6:2 diPAP ou encore le 8:2 diPAP, qui contribuent majoritairement à la concentration totale de PFAS dans les biosolides, boues et composts selon l'étude citée. Le choix de retenir ou non les diPAP dans la réglementation a fait l'objet de débats entre la communauté scientifique et les autorités.

On notera également que le TFA n'est pas non plus intégré à la liste des composés d'intérêt à quantifier dans les boues, car peu quantifié.

Pour ces deux versions du paramètre somme de PFAS, le taux de non-conformité actuel des boues (base des données québécoises disponibles) a été évalué par rapport aux seuils fixés pour les catégories I1 et I2 (la méthode de détermination des valeurs de ces seuils est évoquée ci-après).

Cette étude comparative ne montre aucune différence entre les deux versions dans la répartition des boues les catégories I1, I2 et hors catégorie. En d'autres termes, aucun échantillon ne change de catégorie selon que l'on considère le paramètre $\Sigma 11$ PFAS ou $\Sigma 35$ PFAS. L'interprétation faite par les autorités de ces résultats *a priori* surprenants repose sur la très faible prévalence des 24 autres PFAS analysés dans la version élargie.

⁷¹ Impacts théoriques des seuils établis pour les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA) incluses dans les paramètres investigateurs et préventifs du Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – Note technique 2025.

https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/impacts-theoriques-seuils-spfa-code-gestion-matieres-residuelles-fertilisantes.pdf

⁷² Par exemple : PFAS profiles in biosolids, composts, and chemical fertilizers intended for agricultural land application in Quebec (Canada) (Saliu and all, 2024).

⁷³ Sélection des SPFA incluses dans les paramètres investigateurs et préventifs de la catégorie « I » du Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes – Note technique 2025.
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/articles/selection-spfa.pdf>

A l'aune de ces résultats, l'option de retenir le paramètre sommatif pour 11 PFAS a été confortée.

Données du Québec : 69 échantillons de boues			
Paramètres PFAS utilisés	% catégorie I1	% catégorie I2	% hors catégorie
Paramètres I du code de gestion des MRF : PFOS, PFOA et Σ 11 PFAS	75 %	19 %	6 %
Tous les PFAS analysables par le MELCCFP en 2024 : PFOS, PFOA et Σ 35 PFAS	75 %	19 %	6 %

Tableau n°4 : résumé des impacts théoriques sur les données québécoises, selon 2 versions du paramètre sommatif PFAS

Par ailleurs, le Gouvernement québécois a également évalué les impacts en s'appuyant cette fois sur 112 données canadiennes, en se fondant sur l'hypothèse unique du paramètre Σ 11 PFAS. Cette analyse conclut à un taux de non-conformité de 4 % (classement « hors catégorie ») des boues urbaines.

Au final, le taux de classement prévisionnel de boues en « hors catégorie » interdisant leur valorisation sur des terres agricoles ou sylvicoles est de 4 à 6 %, sur la base de la teneur en PFAS analysée dans 181 échantillons de boues urbaines canadiennes et québécoises.

▪ Méthodes de détermination des valeurs des seuils réglementaires :

L'objectif pilotant le choix des valeurs réglementaires est de limiter la pression d'accumulation en PFAS dans les sols recevant des biosolides, en se basant sur un niveau d'enrichissement maximal à ne pas dépasser dans ces sols.

La détermination des valeurs des seuils proposées pour les PFAS dans les biosolides s'inspire de la démarche utilisée pour déterminer les valeurs seuils pour certains métaux, bien que les données disponibles soient dans le cas des PFAS très lacunaires.

En l'absence de données suffisantes, le modèle de calcul utilisé est fondé sur l'hypothèse d'un niveau initial de contamination des sols équivalent à zéro ; ce niveau de contamination va progressivement croître par la contribution d'épandages réguliers de biosolides sur une durée de 25 ans, sans qu'il ne puisse dépasser la valeur cible de qualité des sols préalablement définie.

Ce modèle s'est basé en partie sur une approche conservatrice, en considérant que les PFAS s'accumulaient dans les sols sans tenir compte des migrations de PFAS dans les compartiments air et eau et des transferts vers les végétaux. C'est donc un « pire scénario » selon lequel les épandages contribuent régulièrement à l'accumulation des PFAS dans les sols, sans « sortie de PFAS ». Pour autant, une limite de ce modèle de type « baignoire » réside dans l'absence de prise en compte de la contamination préexistante des sols.

Les teneurs maximales proposées pour le PFOS et le PFOA dans les boues ont été développées en utilisant les valeurs cibles de qualité des sols établies par l'État de New York⁷⁴, parmi les plus restrictives d'Amérique du Nord, et à même de protéger également la qualité de l'eau souterraine utilisée comme eau de consommation.

Les teneurs maximales proposées pour la somme de 11 PFAS ont été calculées en s'appuyant sur

⁷⁴ <https://dec.ny.gov/sites/default/files/2024-06/draftcp51revised.pdf>. Les valeurs cibles pour les sols sont de 0.88µg/kg pour le PFOS et de 0.66µg/kg pour le PFOA, sans aucune restriction d'usage.

la recommandation pour la qualité des sols, publiée par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), de 10µg/ kg pour le seul PFOS, transposée à la somme de 11 PFAS, toujours dans une approche sécuritaire.

Enfin, les doses d'épandage maximales autorisées pour les biosolides de catégorie I2 (une moyenne de 4,4 tonnes de MS ha/an, sur trois années consécutives) sont dérivées des mesures de mitigation déjà appliquées pour d'autres contaminants mieux documentés.

4. Evaluation des impacts sur les filières, et mesures d'accompagnement

L'introduction des seuils, qu'il s'agisse de normes provisoires au Canada (2024) ou de dispositions fixées par décret au Québec (2025), est très récente. Elle ne permet pas un retour d'expérience approfondi.

- Canada

L'introduction de la norme en PFOS s'est accompagnée d'une mise en œuvre progressive assortie d'actions pédagogiques des organismes de contrôle.

Les autorités canadiennes soulignent une certaine adhésion à la démarche, tant des filières agricoles que des filières industrielles, partiellement liée au fait qu'elle s'appuie sur une approche à la fois scientifique (démarche américaine) et pragmatique.

- Québec

- Evaluation prévisionnelle des impacts économiques

L'évaluation des impacts, en particulier économiques, liés à l'introduction de cette réglementation a fait l'objet d'une note publiée par le Gouvernement québécois en 2025⁷⁵.

L'ajout de nouvelles analyses demandées pour les PFAS se traduit par des coûts supplémentaires annuels estimés à environ 260 000 dollars par an pour les entreprises, calcul basé sur un coût analytique élevé (1 385 dollars) du fait du très faible nombre de laboratoires équipés et accrédités en 2023, et d'un nombre d'analyses annuelles estimé à 188. Il est attendu une diminution significative du coût analytique moyen au fil des années.

A cela s'ajoute une augmentation des quantités de MFR devant être éliminées comme suite à l'instauration de la catégorie I, pour un coût annuel potentiel supplémentaire d'environ 557 000 dollars. Ce calcul s'appuie sur un coût moyen du transport et de l'élimination des boues de 96 dollars la tonne, à comparer au coût moyen du transport et de la valorisation des boues de 65 dollars la tonne.

Le volume de boues ne respectant pas les critères de la catégorie I (« hors catégorie ») est calculé sur la base d'un taux de non-conformité d'environ 4% (cf. supra). 57% de ces boues auraient été destinées à l'épandage, soit un volume final de 18 000 tonnes additionnelles de boues à détruire.

Ces coûts sont basés sur une hypothèse conservatrice et représentent donc plutôt la borne supérieure des impacts potentiels.

⁷⁵ Code de gestion des matières résiduelles fertilisantes, et ses modifications à 4 règlements : analyse d'impact réglementaire, 2025.

<https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/lois-reglements/allegement/agricole/air-code-gestion-matieres-residuelles-fertilisantes-03-2025.pdf>

- Consultations préalables et anticipation de la date d'entrée en vigueur de la réglementation

Le ministère québécois a procédé à différentes consultations avant l'entrée en vigueur des seuils PFAS par décret. Ainsi, une centaine d'experts et d'organismes spécialistes du domaine des PFAS et des MFSC ont été consultés, incluant des représentants des ordres professionnels des agronomes, des chimistes, des collectivités, des filières industrielles et agricoles, des entreprises spécialisées dans la valorisation des boues, des scientifiques, ...

L'approche par paliers a été plébiscitée, notamment par les professionnels de la filière valorisation des MFSC.

Le décret 188-2025 du 26 février 2025 publié en mars 2025 est entré en vigueur au 1^{er} novembre 2025. Cette période a été retenue car la fin d'année marque la fin de la saison des épandages, ce qui facilite la transition et évite un changement des règles en milieu d'année.

Il convient enfin de souligner la volonté manifeste du Gouvernement québécois d'accompagner les différents acteurs par la production de documents guides pédagogiques en parallèle et en amont de la publication du décret : note d'impacts théoriques, guide de référence qui tient lieu de vadémécum expliquant pour chaque article du décret les attendus, ...

- La traçabilité de l'information est considérée comme incontournable au maintien de la confiance entre les acteurs

Les responsabilités du « générateur » de la MFSC, du « promoteur ⁷⁶ » et de l'exploitant agricole ou sylvicole sont clairement établies dans le code de gestion des MFR.

Le générateur de la MFSC est ainsi tenu de procéder à sa catégorisation (ou de déléguer cette tâche au promoteur). Il doit conserver pendant une période minimale de cinq ans l'ensemble des informations ayant permis de catégoriser la MFSC, dont les coordonnées, les process et traitements subis, ainsi que les valeurs moyennes des résultats des analyses obligatoires. Une fiche consignait ces mêmes informations accompagne par ailleurs la MFSC jusqu'à l'utilisateur final.

Certains acteurs ont mentionné que l'existence de telles données de catégorisation archivées sur une longue période permettait de faciliter les appels d'offres et d'impacter favorablement l'activité et l'image de l'entreprise.

Le transfert des informations, d'un maillon à l'autre au sein de la chaîne de valorisation des MFSC, est considéré comme un pilier important de la sécurité des activités de valorisation, permettant la confiance entre les générateurs de MFSC (en l'occurrence les industries et collectivités), les « promoteurs » en charge du recyclage et de la valorisation des MFSC et les utilisateurs finaux, exploitants agricoles ou forestiers.

Le Gouvernement québécois considère également que les nouveaux seuils fixés pour les PFAS favorisent le retour de l'acceptabilité sociale et la confiance de la population.

⁷⁶ Le « promoteur du projet de valorisation » est défini comme un intermédiaire entre le générateur et l'exploitant agricole ou sylvicole utilisateur de la MFSC. Le promoteur peut organiser le transport de la MFSC jusqu'au lieu d'épandage ou de stockage, et est responsable de la réception et du stockage sur le lieu de valorisation.

6.2. ALLEMAGNE

1. Éléments de contexte et pratiques concernant la valorisation des MFSC

- La valorisation des boues de stations d'épuration

Le volume annuel de boues produites en Allemagne est estimé à 1,74 million de tonnes MS⁷⁷. Environ 22 % (0,4 million de tonnes) sont valorisées par épandage agricole et 77 % envoyées à l'incinération.

Elimination globale des boues d'épuration (t)	Recyclage des matériaux				Elimination thermique			Autres	
	Total (t)	agriculture (t)	aménagnts paysagers (t)	autres recyclage (t)	Total (t)	mono-incinération (t)	co-incinération (t)	inconnu (t)	Autres éliminations directes (t)
1 740 556	388 886	259 851	25 181	103 854	1 334 994	507 929	795 819	31 246	16 676
	22%	15%	1%	6%	77%	29%	46%	2%	1%

Tableau n° 4a : Valorisation des boues produites par les stations d'épuration en Allemagne (source EFA 2024)

- Répartition des compétences gouvernementales sur la gestion des déchets

L'Allemagne est un État fédéral : la gestion des déchets combine des compétences partagées entre le Bund (fédéral), les Länders (États fédérés) et les communes.

Le niveau fédéral est en charge du cadre législatif et stratégique. Il élabore le cadre juridique national (lois fondamentales sur les déchets) et est en charge de transposer le droit européen en droit allemand (par ex. directives européennes sur les déchets, l'économie circulaire, les emballages, etc.). Le principal texte est le Circular Economy Act (KrWG)⁷⁸, qui fixe les principes de gestion, la prévention, le recyclage, et les obligations générales des producteurs et des collectivités. Il établit également les normes générales de protection de l'environnement liées aux déchets (prix planchers, interdictions de mise en décharge, principe de responsabilité du producteur, etc.) et définit les responsabilités des producteurs dans la filière des déchets. Les autorités fédérales (ministère de l'environnement et agences spécialisées comme l'Umweltbundesamt) participent à la planification stratégique, à la recherche et aux évaluations environnementales.

Les Länders mettent en œuvre la législation fédérale et peuvent la compléter par des réglementations régionales (lois régionales) selon leur contexte territorial. Ils sont notamment en charge de l'élaboration de plans régionaux de gestion des déchets (planification des infrastructures, des installations de traitement, et des objectifs locaux). Ils assurent la supervision administrative : surveillance de l'application des lois, délivrance des autorisations, contrôle des installations de traitement et élimination.

Enfin, les autorités locales (communes, districts) sont en charge de la planification et de la gestion opérationnelle : collecte, transport, tri et traitement des déchets ménagers et assimilés, constitution de structures intercommunales volontaires (par exemple des associations de communes) pour

⁷⁷ Rapport 2024 « Etude de la présence de PFAS dans l'environnement » de l'Agence allemande de l'environnement

⁷⁸<https://www.bundesumweltministerium.de/en/law/circular-economy-and-safeguard-the-environmentally-compatible-management-of-waste>

mutualiser la gestion des déchets dans certains territoires.

- Éléments déclencheurs de la réglementation PFAS dans les boues

Des épisodes de contamination dès 2000. Des épisodes de contamination des sols agricoles par des PFAS ont été documentés en Allemagne dans les années 2000, notamment autour de sites où des boues ou des composts contenant des tensioactifs fluorés avaient été utilisés comme fertilisant : ces incidents ont montré la capacité de PFOS et PFOA à persister et à se diffuser dans l'environnement à partir des boues appliquées sur le sol.

L'introduction d'une réglementation en 2012. Ces constats ont incité les autorités allemandes à intégrer, dès 2012, une valeur limite dans la DüMV (Ordonnance sur la fertilisation, voir plus loin) pour réduire l'entrée de ces substances dans les sols agricoles via les boues. La limite de 100 µg/kg (soit 100 ng/g) pour la somme de PFOS et PFOA s'inscrit dans cet objectif de prévention des risques environnementaux liés à leur usage comme fertilisant.

L'Agence fédérale de l'environnement (Umwelt Bundesamt) au début des années 2020 a initié un projet de recherche « *Étude de la présence de PFAS dans les flux de déchets* », sur la base de l'annexe A de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP), qui inclut des représentants du groupe des PFAS. Le rapport correspondant « Enquête sur la présence de PFAS dans les flux de déchets »⁷⁹ a été publié en 2024.

Le projet visait l'identification, la quantification et l'évaluation initiales de la présence de PFAS dans certains flux de déchets (textiles, boues d'épuration municipales, boues de papeteries, sols, peintures...). Les mesures de teneurs en PFAS s'appuyaient sur des méthodes globales (paramètre EOF sur le fluor organique total) et non pas spécifiques (pas de mesure de PFAS individualisés).

- **Mesures de teneurs en PFAS des boues réalisées dans le cadre du projet.** Dans le cadre de ce projet, des boues d'épuration ont été analysées. Au total, 17 échantillons de boues d'épuration ont été étudiés (neuf de stations d'épuration industrielles associées à des produits contenant des PFAS ; huit de stations d'épuration municipales ayant déjà présenté des niveaux élevés de PFAS par le passé). Les échantillons de boues ont tous été prélevés par les exploitants des stations d'épuration respectives et lyophilisés sur place. Les teneurs maximales en EOF étaient respectivement de 5 000 µg/kg pour les stations industrielles, et de 750 µg/kg pour les stations municipales (rapport p.97). La teneur en PFAS moyenne des boues des stations municipales était de 338 µg/kg.
- **Compilation de mesures antérieures de teneurs en PFAS des boues (revue bibliographique).** Par ailleurs, une compilation de six publications, portant sur les teneurs en PFAS de 71 échantillons boues de stations d'épuration municipales allemandes, donne la valeur moyenne de 67 µg/kg MS (rapport AFE 2024).

Les teneurs mesurées dans le projet (EOF) sont supérieures à celles des analyses ciblées classiques de PFAS (PFAS individuels), trouvées dans la revue bibliographique. Les mesures ciblées ne quantifient qu'une partie des PFAS et la mesure EOF, qui quantifie le fluor total, mesure au-delà des PFAS.

Une étude (Stahl et al 2018) indique que 86 % des PFAS présents dans les boues sont des PFAS à chaîne longue. Elle indique également un apport de fluor organique dans les stations d'épuration,

⁷⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/untersuchung-des-vorkommens-von-pfas-per> (Untersuchung des Vorkommens von PFAS (Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen) in Abfallströmen Abschlussbericht) (188p.)

ainsi qu'une accumulation dans les boues d'épuration, véritables puits de pollution.

2. Encadrement réglementaire et seuils fixés pour les PFAS dans les MFSC

L'**ordonnance "fertilisation" (Düngemittelverordnung – DüMV)** encadre la qualité des produits fertilisants. Elle a progressivement intégré des seuils sur les PFAS.

Jusque 2012, cette réglementation ne comportait pas de campagne d'analyse concernant les PFAS. La révision de 2012 a introduit des restrictions concernant certains PFAS dans les matières premières destinées à la production de fertilisants et pour les fertilisants eux-mêmes :

- un seuil limite pour la somme **PFOS+PFOA < 100 µg/kg MS** a été fixé, ces deux PFAS étant considérés comme les plus dangereux. Cette limite s'applique particulièrement aux boues de stations d'épuration destinées à des usages agricoles ou paysagers. Si cette limite est dépassée, les boues ne peuvent pas être directement appliquées au sol et doivent être incinérées ou traitées autrement ;
- une exigence d'étiquetage a été introduite lorsque la concentration PFOS + PFOA dépasse 50 µg/kg MS.

Cette réglementation se concentre sur deux PFAS et un seuil simple. Elle ne couvre pas un spectre plus large de PFAS, ni une somme totale de PFAS.

La révision de 2019 n'a introduit ni abaissement du seuil réglementaire, ni augmentation du nombre de PFAS pris en compte. Depuis, on ne relève pas de modification sur la DüMV.

L'**ordonnance allemande sur les boues de stations d'épuration (AbfKlärV)**⁸⁰ est une réglementation fédérale qui encadre la valorisation et la gestion des boues issues des stations d'épuration (Klärschlamm). Elle fait partie du droit allemand des déchets et de la protection de l'environnement, et complète d'autres règlements comme la Düngemittelverordnung (fertilisants) lorsque les boues sont destinées à des usages agronomiques.

Elle s'applique à la valorisation de boues de stations d'épuration, y compris les mélanges de boues et les composts à base de boues, quel que soit le mode d'utilisation (épandage agricole, paysager ou autres). Ses objectifs-clef sont (i) de limiter les apports de contaminants dans les sols (polluants inorganiques et organiques, composés organiques persistants, métaux lourds...) par l'utilisation de boues issues de stations d'épuration ; (ii) de fixer des conditions d'autorisation de l'épandage sans impact environnemental significatif.

Ainsi, la AbfKlärV fixe :

- des critères de qualité et de volume pour l'épandage sur sols agricoles et paysagers ;
- des valeurs limites pour certains contaminants dans les boues et dans les sols traités, au-delà desquelles l'utilisation sur sol n'est pas autorisée ;
- des obligations d'analyse et de surveillance des boues avant épandage ;
- des conditions de fréquence et de procédure pour l'application des boues dans un cadre conforme à la protection de l'environnement.

Plus généralement, l'ordonnance prévoit une limitation progressive de l'utilisation des boues sur les

⁸⁰ Abfall-Klärschlamm-Verordnung ou AbfKlärV ou Klärschlammverordnung
Rapport CGAAER n° 25101 , IGEDD n° 016408-01

sols agricoles, compte tenu des risques liés aux contaminants présents dans les boues :

- jusqu'à 2029, seules les boues de stations < 100 000 EH pourront être utilisées sur sol dans des conditions définies ;
- à partir de 2032, cette possibilité sera limitée aux boues de stations < 50 000 EH.

L'AbfKlärV interdit explicitement d'appliquer sur des sols agricoles ou horticoles des boues issues de stations d'épuration autres que celles traitant principalement des eaux usées domestiques, urbaines ou ayant une charge polluante similaire. Autrement dit, des boues provenant de stations industrielles spécialisées (traitement d'eaux industrielles non domestiques) ne peuvent pas être épandues sur des terres agricoles.

L'encadrement réglementaire PFAS des boues de stations d'épuration urbaines est donc limité à deux PFAS (PFOA et PFOS) et un seuil appliqué à la somme de la concentration de ces deux composés.

Des analyses scientifiques et des recommandations récentes (par ex. BAM et d'autres institutions) soulignent que de nombreux autres PFAS peuvent être présents dans les boues, et que l'actuelle limite sur PFOS + PFOA peut être « insuffisante » pour assurer une protection environnementale complète.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de contraintes applicables au suivi ni de contraintes fixant des apports maximaux d'épandage par hectare sur une période donnée.

3. Méthode de détermination de ces seuils

À l'époque de l'introduction de limites réglementaires, à la fin des années 2000 suite aux épisodes de contamination des sols agricoles par des PFAS, la réglementation allemande a ciblé le PFOS et le PFOA qui étaient les PFAS les mieux étudiés, historiquement les plus utilisés et souvent présents à des niveaux mesurables dans les boues et sols. Il n'existait pas encore de données sur l'ensemble des milliers de PFAS possibles, ni de méthodes normalisées pour les mesurer. Cette simplification visait à créer un indicateur réglementaire pragmatique pour encadrer l'usage agricole des boues sans nécessiter une analyse complexe de plusieurs dizaines de substances, ce qui peut aujourd'hui être jugé insuffisant.

Contrairement à certaines normes (par exemple pour l'eau potable où des agences d'évaluation du risque fixent des critères basés sur une Valeur Toxicologique de Référence (VTR)), la valeur de 100 µg/kg dans la DümV ne repose pas sur un calcul de risque sanitaire direct issu d'études toxicologiques (comme un niveau sans effet observable ou un apport quotidien tolérable). Elle visait à introduire une limite réglementaire pratique pour réduire l'accumulation des PFOS/PFOA dans les sols et restreindre l'usage agricole de boues fortement contaminées (au-delà de ce seuil, les boues doivent être incinérées ou valorisées autrement).

4. Evaluation des impacts sur les filières, et mesures d'accompagnement

- Taux de non-conformité des boues à la réglementation PFAS (DümV)

La très grande majorité des boues de stations d'épuration destinées à la valorisation agricole sont conformes à la réglementation PFAS de **DümV**.

Le rapport de 2024 de l'Umweltbundesamt (Agence fédérale allemande de l'environnement) cité

plus haut, a rassemblé et analysé les données de 1362 échantillons de boues de stations d'épuration destinées à être utilisées comme fertilisant (teneur combinée en PFOS + PFOA). Il indique que 26 échantillons (~1,9%) dépassaient le seuil de 50 µg/kg MS (seuil d'étiquetage obligatoire) et seuls deux échantillons (~0,15 %) dépassaient la limite réglementaire de 100 µg/kg MS.

Ainsi, 99,9% des boues analysées respectent la limite de 100 µg/kg pour PFOS + PFOA, et sont conformes à la réglementation allemande (Düngemittelverordnung / DüMV) pour l'usage agricole.

Les 0,15% qui excèdent le seuil de 100 µg/kg doivent être traités autrement (par exemple par incinération), ce qui ne constitue pas un problème majeur dans le contexte allemand où 77% des boues sont envoyées à l'incinération.

Ces chiffres ne présument pas des teneurs en PFAS des 77% de boues de stations d'épuration qui partent par défaut vers l'incinération.

- Evaluation prévisionnelle des impacts économiques

A ce stade, il semble qu'aucun impact économique significatif n'ait résulté de l'introduction du seuil réglementaire PFOS+PFOA < 100 µg.kg MS.

6.3. BELGIQUE (régions de la Flandre et de la Wallonie)

1. Éléments de contexte et pratiques concernant la valorisation des MFSC

- Répartition des compétences fédérales et régionales

Les trois régions belges que sont la Flandre, la Wallonie et la région de Bruxelles-Capitale sont responsables de la réglementation, du contrôle et de la gestion des sols sur leur territoire, notamment en ce qui concerne la qualité des sols, la contamination (y compris par des substances comme les PFAS) et les mesures de remédiation.

Au niveau fédéral, il existe une supervision indicative et une coordination par le service public fédéral santé et environnement et via des comités de coordination comme le CCPIE (comité de coordination pour la politique internationale de l'environnement). Ceux-ci assurent la cohérence avec les obligations européennes et internationales, et soutiennent la coopération entre régions pour certains aspects transversaux, comme la surveillance environnementale et la gestion des risques.

Au regard de cette répartition des compétences, la mission a rencontré le niveau fédéral belge ainsi que des interlocuteurs des régions wallonne et flamande, très concernées par la problématique des PFAS et ayant fixé des seuils et mesures de gestion pour le moment différents.

- Des pratiques de valorisation des MFSC très hétérogènes en Belgique

Ces différences d'approches entre les deux territoires de Flandre et Wallonie s'expliquent au moins partiellement par l'hétérogénéité des pratiques agricoles et économiques et par les choix politiques, conduisant à l'incinération systématique des boues de station d'épuration en Flandre, et à une valorisation d'une partie importante des boues par épandage sur des sols agricoles en Wallonie.

La Flandre présente une forte densité d'élevages, conduisant à une production importante d'azote et de phosphore facilement valorisable par épandage agricole. Du fait de ce gisement de fertilisants, la valorisation agronomique des boues de station d'épuration apparaît moins attractive.

A l'opposé en Wallonie, avant la forte médiatisation de la problématique PFAS en Belgique, 70% des boues produites (environ 50 000 tonnes MS/an⁸¹) étaient épandues sur les sols agricoles, à hauteur de 5% de la surface agricole utile (SAU) wallonne.

Les boues sont déshydratées et chaulées de façon systématique avant épandage sur les sols agricoles en Wallonie.

⁸¹ <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/DECHETS%208.html#>

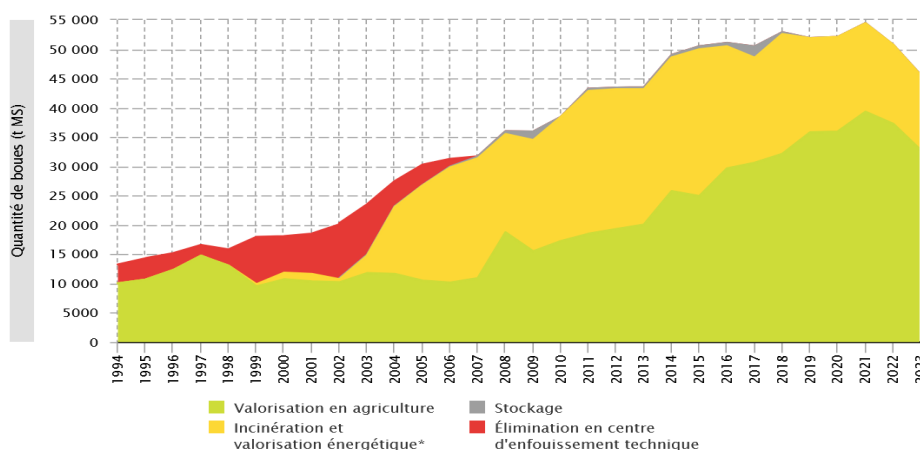


Figure n°3 : Gestion des boues de stations d'épuration collectives en Wallonie⁸²

La valorisation agricole des boues est privilégiée en région wallonne, car elle s'inscrit dans le respect de la politique wallonne en matière de hiérarchisation de la gestion des déchets. Cette hiérarchisation donne la priorité à la valorisation « matière » par rapport à la valorisation « énergétique », tout en assurant un maximum de sécurité sanitaire et environnementale⁸³. Cette valorisation agricole s'effectue conformément aux dispositions de l'arrêté royal modifié du 28 janvier 2013 relatif à la mise sur le marché et l'utilisation des engrais et amendements de sols et de l'Arrêté du Gouvernement Wallon (AGW) du 12 janvier 1995 relatif à l'utilisation des boues sur ou dans les sols. Tous deux imposent le respect de critères de qualité et la traçabilité des boues épandues sur les sols agricoles.

La valorisation des boues de stations d'épuration est soumise à une certification d'usage, qui exige d'identifier l'origine des boues et les processus ayant conduit à leur production et d'analyser des paramètres physico-chimiques et biologiques. Cela permet de déterminer la qualité agronomique des boues ainsi que leur teneur pour certains métaux lourds et oligo-éléments essentiels.

- Éléments déclencheurs de la réglementation PFAS dans les boues de stations d'épuration
 - Flandre

Au printemps 2021, ce qui sera plus tard appelé la « crise des PFAS » éclate en Flandre à la suite de révélations concernant l'entreprise 3M à Zwijndrecht, dans la banlieue d'Anvers. De très fortes concentrations en PFAS sont retrouvées dans le sol, l'eau et le biote à proximité. Cet épisode est qualifié de « plus grand scandale environnemental de Belgique ». La Flandre met alors en place une série de mesures pour le suivi des PFAS dans les différents compartiments (eau distribuée, eaux de surface, eaux souterraines, sols).

- Wallonie

Dans le même pas de temps en 2021, l'administration wallonne est avertie de la présence de PFAS dans l'eau distribuée au sein de la base militaire américaine de Chièvres, à des niveaux dépassant les normes en vigueur aux États-Unis (70 ng/ L) mais pas européennes (100 ng/L). Malgré la mise en place d'un plan d'action par l'administration wallonne, ces événements sont à l'origine d'une crise

⁸² <https://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/DECHETS%208.html#>

⁸³ Site du ministère wallon de l'environnement : <https://environnement.wallonie.be/home/milieux/sol/matieres-fertilisantes-et-sediments/boues-d-epuration.html>

politico-médiatique qui a nécessité la création d'une structure de pilotage interdisciplinaire réactive. Parmi les différentes mesures engagées figure une campagne d'analyse de la qualité de l'eau à grande échelle, qui débute en septembre 2023, l'ensemble des résultats étant disponibles en décembre 2023. Elle résulte de la volonté forte du Gouvernement wallon d'obtenir une vue d'ensemble complète de la situation en matière de qualité de l'eau potable dans les 641 zones du réseau de distribution wallon, dans un délai très court. Quatre zones seulement sur les 641 se sont avérées non conformes à la future norme européenne de 100 ng/L.

2. Encadrement des PFAS dans les MFSC

- Flandre

Depuis le 1er juin 2012, le VLAREMA (règlement flamand pour la gestion durable des cycles de matériaux et des déchets), définit des critères pour l'utilisation des déchets comme matières premières, notamment pour les engrais et amendements du sol.

Les normes prévues par le VLAREMA pour les déchets utilisés comme amendements/engrais imposent à la fois des seuils maximaux de contaminants et des doses maximales autorisées par hectare/an. Les seuils fixés tiennent compte de l'objectif de protection des sols et des eaux souterraines et sont donc articulés avec les dispositions du VLAREBO (règlement flamand sur la qualité des sols).

La fixation de seuils pour les PFAS repose sur une étude préparatoire réalisée par l'institut flamand de recherche scientifique et technologique VITO, commandée par l'OVAM⁸⁴, visant à dériver des normes au moins pour deux PFAS-clés : PFOS et PFOA.

Sur la base de ces travaux, les autorités flamandes publient en 2022⁸⁵ un cadre de référence provisoire pour les PFAS dans les déchets destinés à être utilisés en tant qu'amendements ou fertilisants, et portant à la fois sur des concentrations cibles et sur des apports maximaux.

Valeurs cibles pour les PFAS :

Une valeur de référence de **15 µg/kg MS** est utilisée pour la somme des **20 composés PFAS** de la directive EDCH.

Seuls 17 composés PFAS ont été pris en compte dans l'évaluation, car trois composés PFAS ne pouvaient pas être quantifiés analytiquement (PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS).

Limitation des doses d'épandage :

La charge maximale autorisée apportée par les amendements ou engrais sur le sol est de **30 mg/ha/an pour la somme des 17 composés PFAS** mentionnés (annexe 2.3.1.C du VLAREMA).

Cette charge maximale de 30 mg/ha/an correspondrait à deux tonnes MS/ha/an à la concentration maximum autorisée de 15 µg/kg MS.

Ce cadre de référence n'a pas valeur réglementaire contraignante.

⁸⁴OVAM : Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij, organisme flamand responsable de la politique des déchets et de la gestion des sols en Flandre

⁸⁵Toetsingswaarden voor PFAS in afvalstoffen bestemd voor gebruik in of als bodemverbeteraar of meststof publicatiedatum (OVAM, 2022) : Valeurs de référence pour les PFAS dans les déchets destinés à être utilisés dans ou comme amendements ou engrais

<https://www.vlaanderen.be/publicaties/toetsingswaarden-voor-pfas-in-afvalstoffen-bestemd-voor-gebruik-in-of-als-bodemverbeteraar-of-meststof>

- Wallonie

Le Gouvernement wallon a annoncé, par une circulaire du 10 octobre 2024 reprise dans un communiqué de presse⁸⁶, plusieurs mesures temporaires fondées sur le principe de précaution, pour limiter les risques liés à la valorisation des boues en agriculture. Ces mesures sont entrées en vigueur le 1er janvier 2025.

Valeurs cibles pour les PFAS dans les boues :

Une **valeur cible de 40 µg/kg MS est fixée pour la somme des teneurs en six PFAS** prioritaires (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS, PFDA, PFHxA).

Une **valeur cible de 400 µg/kg MS est fixée pour la somme de 22 PFAS**, afin de limiter leur concentration dans les boues destinées à l'épandage.

Si au moins une de ces deux valeurs est dépassée après contre-analyse, les boues concernées ne peuvent plus être valorisées en agriculture et sont destinées à l'incinération.

Depuis le 1er janvier 2025, la valorisation agricole des boues d'une station d'épuration pour laquelle deux lots de boues consécutifs sont déclassés est interdite jusqu'à ce que six échantillons consécutifs (sur la base d'une analyse par mois) respectent les valeurs cibles.

Limitation des doses d'épandage :

Le Gouvernement wallon limite les doses d'épandage de boues à **six au lieu de 12 tonnes de MS/ha sur une période de trois ans**, tel qu'imposé actuellement dans la réglementation wallonne, quel que soit le type de culture.

Comme pour la Flandre, il s'agit de « normes de qualité » et non de normes à valeur réglementaire, mais elles font globalement l'objet d'une adhésion des acteurs des filières concernées. Le producteur de boues a tout intérêt à garantir le respect de ces normes de qualité suite à la crise de confiance qu'a traversée la Wallonie.

3. Modalités de détermination de ces seuils

Flandre

La méthodologie utilisée par l'institut de recherche VITO s'inspire d'une méthodologie déjà éprouvée pour d'autres contaminants, détaillée dans une publication antérieure (OVAM, 2016⁸⁷).

Pour les polluants organiques, le modèle utilisé vise à déterminer la concentration maximale admissible du polluant dans un amendement/engrais qui entraînera un « enrichissement maximal admissible » préalablement fixé de l'horizon du sol (30 cm supérieurs) sur une période de 100 ans, en considérant un apport de deux tonnes de MS/ha/an.

Les processus pertinents d'entrée/sortie considérés de prime abord concernent l'apport anthropique, le dépôt atmosphérique, l'absorption par les plantes, le lessivage, la dégradation biologique. L'étude souligne que les processus de lessivage sont considérés comme essentiels pour les polluants organiques, notamment les polluants organiques les plus toxiques. En revanche, les contaminations apportées par les dépôts atmosphériques et les « sorties » de PFAS via le transfert sol/plantes ou

⁸⁶<https://coppieters.wallonie.be/home/communiques-de-presse/presses/le-gouvernement-wallon-limite-l-usage-de-boues-issues-de-stations-d-epuration-utilisees-comme-fertilisants.html>

⁸⁷Afleiding en onderbouwing ontwerpnormen voor gebruik grondstoffen als bodemverbeterend middel/meststof in Vlaanderen (OVAM, 2016) : Définition et justification des normes de conception pour l'utilisation de matières premières comme amendement de sols/engrais en Flandre.

https://ovam.vlaanderen.be/c/document_library/get_file?uuid=d0677334-d41a-eb05-b3b3-3896d0b70b36&groupId=177281

par volatilisation n'ont pas été pris en compte par le modèle.

L'enrichissement maximal admissible du sol est défini dans cette étude comme l'enrichissement à hauteur de 150% de la valeur cible du sol.

Les normes établies pour les amendements et engrais s'appuient donc sur des valeurs cibles ou valeurs de fond définies pour les sols flamands. L'article 3 du décret du 20 octobre 2006 relatif à l'assainissement et à la protection du sol indique qu'il s'agit des teneurs qui sont retrouvées « comme fond normal dans des sols non pollués ayant des caractéristiques similaires ». Elles sont fixées pour correspondre au percentile 90 des données disponibles (INERIS, 2025⁸⁸).

Deux études publiées en 2021⁸⁹ et 2024⁹⁰ ont été menées dans la région flamande pour déterminer ces valeurs de fond « cibles » dans les sols, qui ont conduit à retenir les valeurs suivantes pour deux PFAS uniquement :

- 1,5 µg/kg MS pour le PFOS ;
- 1 µg/kg MS pour le PFOA.

Ce sont ces deux valeurs cibles dans les sols qui ont été utilisées dans la modélisation flamande, pour aboutir à la détermination de la valeur de référence de **15 µg/kg MS pour les 20 PFAS** de la directive EDCH, dans les amendements et engrais.

L'extension de la valeur fixée aux 20 composés de la directive EDCH est un choix de l'autorité de gestion afin d'établir une cohérence avec les enjeux majeurs du milieu « eau ».

Wallonie

Résultats de deux « audits » commandités par le Gouvernement wallon à la Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE⁹¹).

***Premier audit** : un premier « audit » mené par la SPGE en avril et mai 2024 a permis de faire le point sur les teneurs en PFAS dans les eaux usées traitées et les boues issues de stations d'épuration. 27 PFAS ont ainsi été analysés dans 112 échantillons de boues déshydratées issues de 98 stations. En effet, le comité de suivi, institué en avril 2024⁹² pour suivre de manière proactive la question des PFAS en assainissement, a décidé d'analyser l'ensemble des PFAS ciblés par la directive EDCH et par la directive DCE, soit 26 composés, ainsi que le 6 :2 FTS retrouvé dans certaines mousses anti-incendie⁹³.

Seuls les résultats sur les boues de stations d'épuration sont présentés ici (le détail des résultats

⁸⁸ Valeurs de fond des PFAS dans les sols européens et cadre de gestion des sols contaminés par les PFAS sur le territoire flamand (INERIS, 2025).

<https://www.ineris.fr/fr/valeurs-fond-pfas-sols-europeens-cadre-gestion-sols-contamines-pfas-territoire-flamand>

⁸⁹ Afleiden van streefwaarden voor perfluorverbindingen en enkele andere 'emerging contaminants'. Deel 1. Analyses (OVAM, 2021) : Détermination des valeurs cibles pour les composés perfluorés et certains autres contaminants émergents. Partie 1. Analyses.

<https://www.vlaanderen.be/publicaties/afleiden-van-streefwaarden-voor-perfluorverbindingen-en-enkele-andere-emerging-contaminants-deel-1-analyses>

⁹⁰ Bepalen van streefwaarden voor pfas in grond en grondwater (OVAM, 2024) : Détermination des valeurs cibles pour les PFAS dans le sol et les eaux souterraines

<https://www.vlaanderen.be/publicaties/bepalen-van-streefwaarden-voor-pfas-in-grond-en-grondwater>

⁹¹ En Wallonie, l'assainissement est coordonné depuis 2000 par la SGPE qui, avec les 7 Organismes d'Assainissement Agréés, assure l'exploitation de 459 stations d'épuration publiques.

⁹² Il réunit la SPGE, le Service Public de Wallonie – Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (SPW – ARNE) et l'Institut Scientifique de Service Public.

⁹³ En revanche, le 6 :2 FTOH et le 8 :2 FTOH ne pouvaient pas être analysés de façon fiable et ont été exclus de la liste. https://environnement.wallonie.be/files/Images/Actualit%20a9s/2024_PFAS_Stations_Epuration/PFAS%20dans%20les%20eaux%20a9pur%20et%20les%20boues%20urbaines%20r%20a9siduaires%20en%20Wallonie%20-%20Etat%20des%20lieux.pdf

sur l'ensemble des échantillons d'eaux usées et de boues est disponible dans le rapport⁹³) :

- Dix PFAS (PFHpS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS, HPFO-DA/GenX, DONA, PFODA et C6O4) n'ont jamais été détectés ;
- sept PFAS sont détectés dans plus de la moitié des échantillons de boues, valorisées en agriculture ou non (PFOS, PFDODA, PFDA, PFUnDA, PFOA, PFTeDA et PFHxA),
 - dont quatre ont été détectés dans plus de 90 % des cas (PFOS, PFDA, PFDODA et PFUnDA) ;
 - dont un a été détecté dans tous les échantillons (PFOS), parfois avec de fortes concentrations.

***Deuxième audit** : ce deuxième audit a été réalisé entre fin octobre 2024 et début janvier 2025, afin de disposer d'un nouvel état des lieux, six mois après le premier audit.

La liste des composés recherchés n'est pas tout à fait la même : cette fois, le comité de suivi a fait analyser 22 composés PFAS figurant dans la circulaire ministérielle d'octobre 2024, dans 106 échantillons de boues déshydratées provenant de 105 sites.

Là encore, seuls les résultats d'analyse sur les boues sont présentés (cf. note ⁹⁴) :

- neuf PFAS sur les 22 composés recherchés n'ont jamais été quantifiés dans les boues valorisées en agriculture (PFTrDA, PFBS, PFPeS, PFHpS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS et PFTrDS) ;
- cinq PFAS sont quantifiés dans plus de la moitié des échantillons (PFOA, PFDA, PFUnDA, PFDODA et PFOS) ;
- les composés PFOS, PFDA et PFDODA ont été retrouvés dans plus de 90% des échantillons, ce qui est cohérent avec les résultats du 1^{er} audit.

Aucun échantillon n'a dépassé le seuil réglementaire de 400 µg/kg MS pour la somme des 22 PFAS, et la majorité des échantillons (98,5 %) étaient également sous le seuil de 40 µg/kg MS pour la somme des six PFAS.

Le TFA a également été recherché dans 105 échantillons de boues. Il a été quantifié dans seulement deux échantillons à un taux de 69 µg/kg MS (fréquence de quantification équivalente à 1,9%).

Les conclusions issues de ces deux campagnes d'analyses réalisées en 2024 sur des panels de respectivement 112 et 106 échantillons de boues déshydratées ont confirmé que, pour la plupart des boues y compris celles valorisées en agriculture, les concentrations de PFAS étaient relativement faibles, et que la majorité des échantillons (96%) avaient des concentrations cumulées pour la somme de 22 PFAS en dessous de 40 µg/kg MS.

L'étude affirme par ailleurs que, au regard des données disponibles, il n'est pas probant d'établir des corrélations directes entre les teneurs en PFAS mesurées dans les rejets aqueux des stations d'épuration et dans les boues déshydratées.

La valeur cible de 40 µg/kg MS fixée pour la somme de six PFAS s'appuie en grande partie sur les résultats des deux campagnes d'analyses précédemment citées.

La distribution statistique des concentrations mesurées a été utilisée comme référence de contexte pour définir des valeurs cibles qui soient à la fois protectrices et réalistes. Les six substances retenues sont fréquemment retrouvées dans les boues et bien documentées, elles incluent par ailleurs les quatre composés PFAS réglementés dans les denrées alimentaires (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS).

⁹⁴ https://environnement.wallonie.be/files/Images/Actualit%c3%a9s/Rapport_Audit2_VF.pdf

Des débats avec la communauté scientifique ont émergé, portant sur l'intérêt qu'il y aurait à s'appuyer sur un modèle intégrant des valeurs cibles toxicologiques et des valeurs seuils dans les sols avec un niveau d'enrichissement maximal autorisé par l'épandage de boues.

Une des difficultés soulignées par la communauté scientifique résidait dans le fait qu'il n'existe pas de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) probante, établie pour la somme des six PFAS retenus par le Gouvernement.

En l'absence de cadre réglementaire ou normatif européen et dans la mesure où les données scientifiques restaient partielles, les autorités wallonnes ont confirmé l'opportunité de disposer de cet indicateur de gestion « somme des six PFAS ». Une évaluation de la pertinence de ces valeurs cibles est engagée en 2026, pour tenir compte de l'évolution rapide des connaissances scientifiques et de l'amélioration de la performance analytique.

La valeur cible de 400 µg/kg MS fixée pour la somme de 22 PFAS correspond à la valeur établie par le Danemark, considérée par la Wallonie comme pertinente et fondée sur une analyse de risque prenant en compte des valeurs maximales admissibles dans les sols.

Le TFA, très peu retrouvé dans les échantillons de boues analysés et bien davantage présent dans le milieu aqueux, n'est pas considéré comme un bon indicateur de contamination en PFAS des boues par les scientifiques wallons, et ne fait donc pas partie des composés retenus.

La division par deux des apports de boue annuels maximaux autorisés à l'hectare résulte de choix politiques réaffirmant l'importance de préserver la qualité des sols en jouant sur différents leviers d'action. Elle revient indirectement à limiter le flux de PFAS apportés à la parcelle.

Une campagne d'analyse a en parallèle été menée sur d'autres matières fertilisantes que les boues (y compris des composts et des digestats). Les résultats ne sont pas encore publiés, les premières données semblent confirmer que les composts, digestats, et *a fortiori* les effluents d'élevage sont moins contaminés par les PFAS que les boues de stations d'épuration.

Enfin, une réflexion est en cours pour intégrer la problématique des PFAS aux dispositions du « décret sols » du 1^{er} mars 2018 concernant les PNN (polluants non normés).

4. Evaluation des impacts sur les filières, et mesures d'accompagnement

- Flandre

Les valeurs cibles fixées en Flandre pour les PFAS dans les boues et plus généralement les engrais et amendements sont parmi les plus basses d'Europe. Pour autant, l'impact sur les filières est jugé minime, dans la mesure où les boues sont quasi systématiquement incinérées.

- Wallonie

Une crise de confiance à l'égard des boues

Comme indiqué précédemment, la Wallonie a dû faire face à une crise de confiance majeure de la profession agricole et de la population, avec une stigmatisation de l'épandage des boues en particulier, et des réactions de rejets des agriculteurs même lorsque la conformité des boues aux valeurs cibles définies était assurée.

Au final, la part des boues épandues sur les sols agricoles a enregistré une diminution depuis 2023 (65% au lieu de 70-72% précédemment), ceci alors même que la très grande majorité des boues sont conformes aux valeurs cibles actuellement proposées (cf. résultats des audits menés par la SPGE).

Des difficultés logistiques liées principalement au stockage des boues

La mission a pris note, lors des entretiens menés, de la problématique que constitue le stockage des boues dans l'attente des résultats d'analyse : le déplacement de boues chaulées déshydratées demeure problématique (instabilité et modification de la structure, risque de lixiviation, ...). Les stations d'épuration ne sont pas non plus dimensionnées pour réaliser un stockage tampon de longue durée.

Il semble que, en Wallonie, le stockage des boues en bord de champ soit autorisé dans l'attente des résultats analytiques, mais l'exploitant s'expose à la gestion du devenir de ces boues en cas de non-respect des valeurs cibles, y compris en terme d'image.

6.4. SUEDE

1. Éléments de contexte et pratiques concernant la valorisation des MFSC⁹⁵

- La valorisation des boues de station d'épuration

Les statistiques publiées par l'Agence suédoise de protection de l'environnement⁹⁶ montrent que la production nationale de boues de stations d'épuration municipales est stable autour de 200 000 tonnes MS par an (198 000 tonnes en 2022), et que la part valorisée en agriculture est en augmentation notable (25% en 2010, 50% en 2021-2023, 60% en 2024)⁹⁷.

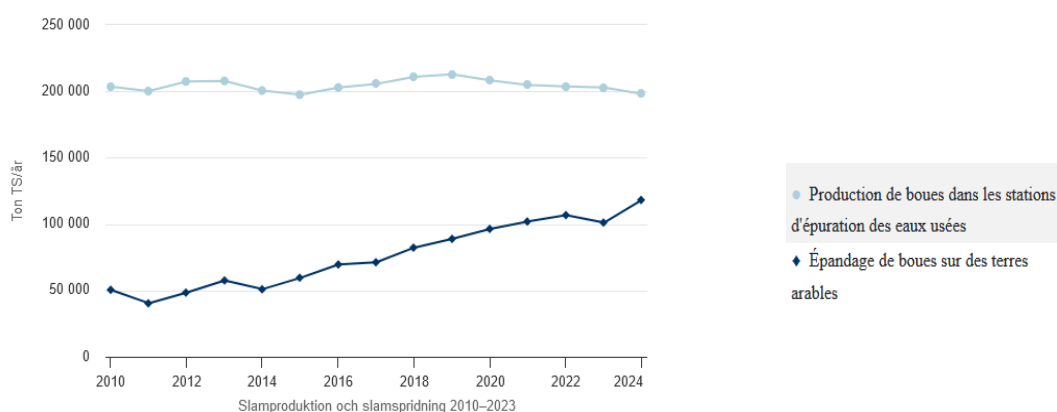


Figure n°4 : part des boues de station d'épuration valorisée en agriculture en Suède

- Cadre réglementaire et normatif suédois sur la gestion des déchets

L'épandage des boues d'épuration sur les terres agricoles est réglementé par la directive européenne relative aux boues d'épuration (86/278/CEE), la norme SNFS 1994:2 et l'article 20 de la norme SFS 1998:944. La Suède rend compte annuellement à l'UE du respect de cette réglementation. Les informations communiquées doivent être mises à la disposition du public. L'Agence suédoise de protection de l'environnement les rend publiques depuis 2023.

Une grande partie des boues d'épuration utilisées sur les terres agricoles provient de stations d'épuration certifiées SPCR 167.

- Éléments déclencheurs de la réglementation PFAS dans les boues de station d'épuration

Les inquiétudes face à la pollution liée aux PFAS concernent majoritairement l'eau potable, notamment après l'affaire de Ronneby en 2013 qui a fait l'objet d'une forte attention dans la presse.

La contamination aux PFAS des eaux potables à Ronneby en 2013 : les PFAS contenus dans des mousses extinctrices utilisées par le ministère de la Défense durant plus de 25 ans, pour une flottille d'avions F17 proche d'un aéroport, ont pollué les eaux souterraines, source d'eau potable à Ronneby. L'eau contaminée présentait des teneurs en PFAS supérieures à 10 000 ng/l pendant

⁹⁵ Cette fiche s'appuie notamment sur les sites de l'Agence suédoise de protection de l'environnement, du Swedish Geotechnical Institute, du Research Institute of Sweden (RISE), ainsi que sur une note de 2023 de la DG Trésor

⁹⁶ <https://www.ri.se/sv/svenskanaringsplattformen/nyheter/okad-slam-anvandning-i-sverige>

⁹⁷ https://www.naturvardsverket-se.translate.google.com/data-och-statistik/avlopp/avloppsslam-pa-jordbruksmark-anvandning-innehall-och-spridningsplatser/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=wapp

plusieurs années. 160 personnes ont ainsi été contaminées à Ronneby par ingestion d'eau potable polluée aux PFAS : la concentration dans le sang des victimes dépassait 600 ng/ml, le niveau le plus élevé mesuré à ce jour.

Selon un rapport "Eau potable contaminée par les PFAS en Suède" publié en 2022 par la Société suédoise pour la conservation de la nature (Naturskyddsföreningen)⁹⁸, plus de 2 millions de suédois (20 % de la population) consommaient de l'eau dont la teneur en PFAS dépasserait la norme danoise de 2 ng/l.

Dans ce contexte, la décision prise le 27 avril 2023 par le Gouvernement d'accepter les travaux de drainage de l'aéroport de Karlsborg au bord du lac Vättern, a été fortement critiquée dans la presse par les ONG : les eaux souterraines polluées sous l'aéroport devaient être drainées vers le lac Vättern, réserve d'eau potable de 0,3 million d'habitants, dont la concentration en PFAS-4 dépassait déjà la norme danoise de 2 ng/L. Des organisations ont fait appel de la décision du Gouvernement auprès de la cour suprême suédoise.

La Suède fait partie des cinq pays européens (avec le Danemark, l'Allemagne, la Norvège et les Pays-Bas) qui ont proposé en 2023 à l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) une interdiction historique de tous les PFAS en Europe (soit plus de 10 000 composés perfluorés)⁹⁹. La participation de la Suède à cette initiative a été trans-partite : décidée par un Gouvernement social-démocrate et vert, elle a été soutenue par l'alliance de droite et d'extrême droite qui a pris le pouvoir après les élections de septembre 2022.

2. **Encadrement et seuils fixés pour les PFAS dans les MFSC**

Malgré une valorisation agricole significative des boues de stations d'épuration (60 %), il n'existe pas actuellement d'encadrement réglementaire de leur contamination aux PFAS.

Dans le domaine de l'eau potable, la Suède s'est montrée pionnière dans la lutte contre les PFAS. Elle a introduit des normes nationales plus strictes que celles imposées par l'UE. Ainsi, depuis le 1er janvier 2023, les normes suédoises pour l'eau potable limitent la présence de quatre composés PFAS (PFOA, PFNA, PFOS et PFHxS) à 4 ng/l (contre 2 ng/l au Danemark), et celle de 21 composés PFAS¹⁰⁰ à 100 ng/l. En introduisant un 21^{ème} PFAS et en fixant un seuil supplémentaire sur la somme de quatre PFAS, les normes suédoises sont plus strictes que la norme européenne (qui fixe uniquement un seuil pour la somme des teneurs en 20 PFAS à 100 ng/l). Les opérateurs d'eau potable disposaient d'une période transitoire de trois ans pour prendre des mesures permettant d'atteindre ces normes, avant qu'elles ne deviennent obligatoires au 1er janvier 2026.

Hormis l'eau potable, la Suède n'impose pas de restrictions sur les PFAS qui soient plus strictes que le cadre européen, en particulier sur les concentrations dans les denrées alimentaires. Le Gouvernement ne souhaite pas introduire de nouvelles normes qui seraient plus ambitieuses que celles en discussion au niveau européen, afin de ne pas réduire la compétitivité des entreprises suédoises.

Les valeurs guides dans les sols et les eaux souterraines : toutefois, afin de disposer de lignes directrices permettant d'évaluer les risques que représente une zone contaminée par des composés PFAS pour la santé humaine et l'environnement (valeurs guides générales du ministère de

⁹⁸ https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2022/04/29085341/31562_5f4cf4187858cb3.pdf

⁹⁹ Leur proposition a été remise à l'ECHA, le 13 janvier 2023. Sur cette base, l'ECHA a ensuite publié la proposition d'interdiction le 7 février 2023. La période de consultation sur cette proposition s'est ouverte le 22 mars 2023 pour une durée de 6 mois.

¹⁰⁰ Ces 21 PFAS couvrent les 20 substances PFAS spécifiées dans la directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil ainsi que le 6 :2 FTS.

l'environnement et de l'énergie, décret n° S 2014/8774/SAM), le Gouvernement a mandaté le Swedish Geotechnical Institute (SGI) pour élaborer des « valeurs-guides préliminaires » pour les PFAS dans les sols et les eaux souterraines. Elles ne constituent pas à proprement parler des seuils réglementaires, mais des seuils d'évaluation des risques pour la santé humaine et l'environnement. Elles peuvent donc orienter la gestion des apports de MFSC, et particulièrement de boues de STEU. Ces valeurs-guides préliminaires sur la teneur en PFAS des sols et des eaux souterraines, présentées ci-dessous, ont été publiées dans un rapport du SGI de 2015¹⁰¹ :

- **PFOS** : les valeurs-guides préliminaires pour les sols ont été fixées à 20 µg/kg MS pour les sols moins sensibles (visant à protéger les eaux souterraines en tant que ressource naturelle) et à 3 µg/kg MS pour les sols à usage sensible (visant, en plus de la protection des eaux souterraines, à protéger l'environnement du sol – exemple : zones résidentielles -). La valeur guide pour les eaux souterraines est de 0,045 µg PFOS/L et est régie par la protection des eaux souterraines.
- **Autres PFAS** : le rapport de 2015 n'introduit pas de valeurs-guides, faute d'éléments de connaissance suffisants.

La certification volontaire applicable aux boues : en Suède, certaines directives volontaires ont été mises en place soit pour pallier l'absence de limites légales nationales spécifiques (ex. pour les PFAS), soit pour aller au-delà des réglementations nationales et européennes. C'est le cas de la certification REVAQ¹⁰² (système de certification pour les boues d'épuration).

La certification REVAQ SPCR 167 repose sur :

- la surveillance analytique des PFAS dans les boues, incluant des seuils internes pour quatre PFAS et 22 PFAS ;
- un travail systématique en amont pour réduire leur entrée dans les stations ;
- une approche de qualité globale supérieure aux seules obligations légales, visant à garantir que les boues réutilisées en agriculture ne présentent pas de risque excessif lié à ces substances persistantes.

La certification inclut des « action limits » pour des groupes de PFAS spécifiques : par exemple, des limites indicatives de ~7,5 µg/kg MS pour quatre PFAS (PFAS4) et ~25 µg/kg MS pour un ensemble de 22 PFAS (PFAS22). Ces valeurs ne sont pas des normes réglementaires ou juridiques, mais sont contraignantes pour la certification. Elles servent à guider la gestion de la qualité des boues dans des démarches volontaires. On estime aujourd'hui que la moitié des boues issues des stations d'épuration suédoises sont certifiées selon le système REVAQ.

3. Méthode de détermination de ces seuils

- *Sélection des composés PFAS et évaluation des impacts* :

Les travaux de SGI ont porté sur une liste de 19 composés PFAS, établie après consultation des différentes autorités concernées¹⁰³ :

- PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS ;
- PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA ;

¹⁰¹ « Valeurs guides préliminaires pour les substances PFAS dans les sols et les eaux souterraines » (SGI Statens geoteknika institut 2015) <https://sgi.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1300083&dswid=-3323>

¹⁰² <https://www.ri.se/en/infrastructure/water/story/the-revaq-certified-sjostadsverket-is-responsible-for-the-sludge>

¹⁰³ Autorité suédoise de la mer et de l'eau (HaV), l'Agence suédoise des produits chimiques (KemI), l'Agence nationale suédoise de l'alimentation (SLV), l'Agence suédoise de la protection civile (MSB), l'Agence suédoise de protection de l'environnement (NV) et le Service géologique de Suède (SGU), Université suédoise des sciences agricoles (SLU), trois laboratoires commerciaux d'analyse (ALcontrol Laboratories, ALS Scandinavia et Eurofins Environment)

- 6 :2 FTS, PFOSA ;
- 6 :2 FTOH, 8 :2 FTOH, 10 :2 FTOH.
 - Méthodes de détermination des valeurs des seuils :

Valeurs guides dans les sols et les eaux souterraines : considérant que les données nécessaires à l'élaboration de valeurs-guides étaient insuffisantes pour la plupart des composés PFAS et que seul le PFOS disposait de données scientifiques suffisamment complètes, le SGI a choisi de se concentrer en priorité sur l'établissement de valeurs-guides pour le PFOS, puis de les compléter pour les autres composés PFAS (en commençant par le PFOA) lorsque les données nécessaires seront disponibles.

Les valeurs-guides pour le PFOS dans les sols ont été calculées selon la méthodologie précédemment élaborée par l'Agence suédoise de protection de l'environnement pour le calcul des valeurs-guides relatives à d'autres contaminants des sols. Cette méthodologie repose sur le principe que les valeurs-guides établies tiennent compte des risques qu'une zone contaminée représente pour les populations riveraines et pour l'environnement, tant en amont qu'en aval.

Elle couvre deux types d'utilisation des sols : les sols sensibles où l'objectif est de protéger les eaux souterraines et l'environnement du sol (par exemple, les zones résidentielles), et les sols moins sensibles où l'objectif est de protéger les eaux souterraines (par exemple, les zones industrielles).

Seuils de certification PFAS REVAQ dans les boues :

Les valeurs seuils PFAS dans REVAQ (SPCR 167) sont des valeurs opérationnelles internes, construites par les gestionnaires du système REVAQ (les compagnies d'eau suédoises regroupées dans Svenskt Vatten).

Elles résultent d'un processus fondé sur des données de terrain, des évaluations toxicologiques et des objectifs de réduction continue. Entre 2010 et 2020, les stations d'épuration suédoises ont mené des campagnes d'analyse sur des PFAS individuels (ex. PFOS, PFOA), un groupe "noyau" de quatre PFAS utilisé comme indicateur, un groupe élargi de 22 PFAS. Sur cette base, les valeurs-seuils ont été fixées comme limites compatibles avec le niveau de contamination réellement mesuré, afin d'être atteignables pour les stations certifiées, mais suffisamment exigeantes pour stimuler la réduction amont.

4. Evaluation des impacts sur les filières, et mesures d'accompagnement

Les principales destinations des boues non certifiées REVAQ sont :

- l'incinération avec valorisation énergétique qui est une option très courante (50 à 60 %) ;
- l'usage en travaux publics pour des remblais et couverture de décharges (20 à 30 %) ;
- l'épandage agricole qui est autorisé mais moins accepté par les utilisateurs aval (10 à 20 %) ;
- la mise en décharge qui reste marginale (moins de 5 %) ;
- la récupération de phosphore qui est en développement (moins de 5 %).

La mission n'a pas pu collecter d'informations détaillées sur les impacts éventuels liés à l'introduction des valeurs-guides dans les sols et les eaux souterraines, et d'une démarche de certification dans les boues. Elle suppose toutefois que ces impacts restent modestes, considérant l'absence de mesure contraignante associée.

6.5. DANEMARK

1. Éléments de contexte et pratiques concernant la valorisation des MFSC

- La valorisation des boues de stations d'épuration

Le Danemark compte plus de 1000 STEU, généralement gérées par des municipalités. La production annuelle de boues de STEU est estimée en 2025 à 160 000 tonnes MS/an¹⁰⁴ (1,2 millions de tonnes de boues en poids humide). Cette production est stable. Un article de 2005¹⁰⁵ signalait une baisse progressive de la production (de 170 000 tonnes MS en 1994 à 140 000 tonnes MS en 2002), mais le volume semble être remonté depuis.

Le traitement et la valorisation des boues se font selon plusieurs filières :

- ~25 % des boues sont incinérées (en mono-combustion ou co-incinération), souvent dans des installations spécialisées, avec récupération d'énergie possible. ;
- ~75 % des boues sont traitées puis valorisées :
 - ~45 % des boues sont d'abord digérées anaérobiquement pour produire du biogaz, puis le digestat est utilisé comme fertilisant agricole ou matière organique utile ;
 - ~25 % des boues sont simplement déshydratées et traitées (additifs), destinées à une valorisation ultérieure (souvent agricole) ;
 - ~5 % des boues sont compostées ou minéralisées, ce qui en fait une matière organique plus stable et adaptée à certaines applications agricoles ou industrielles ;
 - < 1 % est transformé en biochar via pyrolyse, une forme de carbone stable utilisée dans certains sols ou applications industrielles.

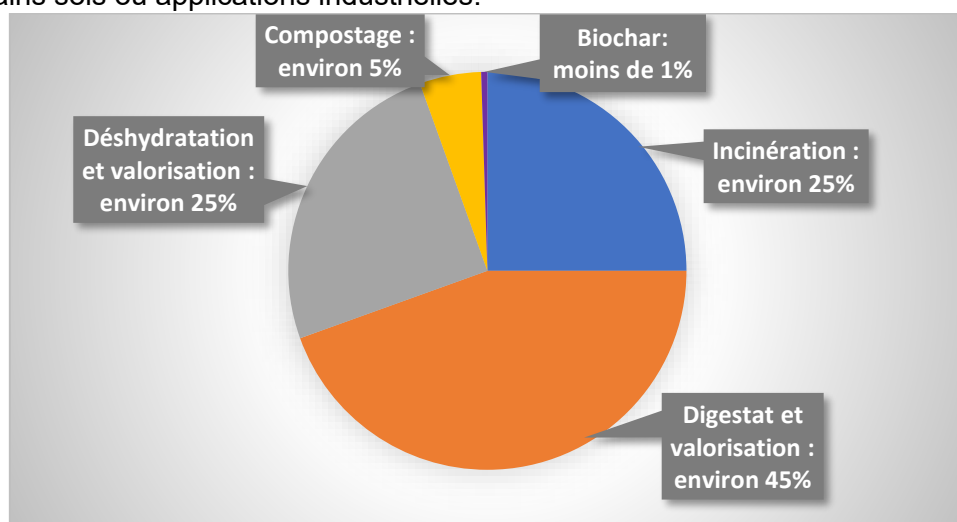


Figure n°5 : modalités de traitement des boues de STEU au Danemark

Après traitement et stabilisation, environ 93% des boues traitées finissent en épandage agricole ou dans des usages associés (comme fertilisant ou amendement organique) et 7% aboutissent en mise en décharge, généralement à la suite d'une incinération externe ou si elles ne peuvent être utilisées

¹⁰⁴<https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/Report%20PhosphorusProject%20Denmark%20for%20ESPP.pdf>

¹⁰⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X04001801?> « The production, use and quality of sewage sludge in Denmark », Waste Management, Volume 25, Issue 3, 2005, Pages 239-247

autrement.

L'ordonnance ministérielle n° 49 du 20 janvier 2000 (« Statutory Order on Sludge ») est la principale base juridique pour l'utilisation de boues en agriculture au Danemark. Elle introduit notamment des critères de qualité des boues et de qualité des sols :

- seules les boues qui respectent des limites strictes pour certains métaux lourds et de certains polluants organiques autorisés peuvent être utilisées ;
- le sol doit satisfaire à des critères spécifiques de qualité pour que l'application de boues soit autorisée.

Les boues doivent obligatoirement subir un traitement (stabilisation, compostage ou hygiénisation contrôlée) avant épandage sur les terres agricoles. Les boues hygiénisées (par exemple par pasteurisation) et répondant à des critères microbiologiques (absence de *Salmonella*, faible nombre de streptocoques fécaux) ne sont soumises à aucune restriction spécifique d'utilisation ; les boues seulement stabilisées ou compostées sont soumises à des restrictions d'usage (épandage sur des sols accueillant des produits non destinés à une consommation immédiate, obligation de labourer rapidement après épandage, etc.).

L'épandage agricole des boues est autorisé à hauteur de sept tonnes/ha/an. La qualité des boues doit être contrôlée une fois par an pour les polluants organiques réglementés (une fois tous les trois mois pour les métaux lourds). La qualité des sols doit être contrôlée avant le premier épandage de boues.

- Répartition des compétences gouvernementales sur la gestion des déchets

Rôle de l'État (niveau national)

Législation et normes environnementales : le ministère chargé de l'environnement (et son agence, la Danish Environmental Protection Agency) élabore, administre et supervise les règles relatives à la gestion des eaux usées et des boues issues des stations d'épuration. Cela inclut les normes nationales de qualité, les obligations découlant de la directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines (qui couvre indirectement aussi la gestion des boues), ainsi que les critères environnementaux sur l'utilisation ou l'élimination des boues. Ainsi, les normes de traitement des boues, de protection des milieux et les grandes orientations (taxes environnementales sur les rejets, cadre réglementaire européen, etc.) sont définies au niveau central, l'État fixant les axes et les objectifs.

Surveillance et orientation stratégique : l'agence est l'autorité de contrôle pour les permis de rejets et pour le respect des objectifs environnementaux. Elle assure une supervision administrative et technique, notamment pour les installations ayant un impact significatif sur l'environnement. Elle fournit des lignes directrices, appuie la recherche et coordonne au plan national les politiques liées aux ressources (azote, phosphore) issues de la gestion des boues.

Rôle des municipalités

De leur côté, les municipalités sont en charge (i) de l'exploitation et de la maintenance des stations et réseaux, (ii) de la planification locale des services d'assainissement, (iii) de la gestion opérationnelle des boues (traitement, valorisation, élimination) et (iv) de la délivrance des autorisations d'exploitation et surveillance locale.

- Éléments déclencheurs de la réglementation PFAS et biosolides

Un incident local a été particulièrement déterminant dans la sensibilité à la contamination par les

PFAS.

Pollution accidentelle lors d'exercices de lutte contre l'incendie : en 2020, des PFAS ont été détectés à des niveaux élevés dans les eaux usées municipales autour de Korsør. Début 2021, les autorités locales en ont identifié la source (utilisation historique de mousses anti-incendie contenant notamment du PFOS et du PFHxS, lors d'exercices de formation à la lutte contre l'incendie menés à Korsør entre 1969 et 2001). La même année, des analyses ont montré des concentrations préoccupantes de PFAS dans l'environnement et dans la viande de bovins ayant pâturé à proximité. Les impacts ont été multiples :

- sols : les concentrations totales de PFAS analysés dans les sols pouvaient atteindre autour de 1 450 µg/kg MS dans les zones les plus touchées ;
- eaux souterraines : des PFAS ont été détectés dans tous les puits de surveillance, avec des teneurs allant de 90 à plus de 123 000 ng/l selon les composés et l'emplacement ;
- eaux de surface : dans la baie voisine (Korsør Cove), on a mesuré jusqu'à 77 ng/l de PFOS dans l'eau, et jusqu'à 34 000 ng/l dans un ruisseau d'écoulement lié au site ;
- biote et contamination alimentaire : des analyses sanguines réalisées auprès des membres d'une association locale d'éleveurs ont révélé des niveaux de PFOS et PFHxS bien supérieurs aux références danoises normales, suggérant une exposition humaine via la chaîne alimentaire.

Ceci a suscité une forte préoccupation environnementale et sanitaire. Ce type d'événement a mis clairement en évidence le caractère persistant et cumulatif des PFAS dans l'environnement et la chaîne alimentaire. Depuis 2021, des mesures de traitement (zones de drainage captées et usines de traitement sur site) ont été mises en place pour limiter la diffusion vers les nappes et cours d'eau.

Bien que le Danemark ne manufacture pas lui-même beaucoup de PFAS, des concentrations élevées ont été ensuite retrouvées dans des sites d'essais et d'entraînement, notamment des stations d'essais de mousses anti-incendie, des zones d'essais militaires, ou encore des décharges.

Les régions estiment que jusqu'à 15 000 sites pourraient présenter des sols contaminés par les PFAS en raison d'activités potentiellement polluantes.

En 2023, le Danemark et d'autres pays ont soumis une proposition à l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) pour restreindre l'usage des PFAS à l'échelle de l'UE. Cette collaboration a renforcé la position réglementaire nationale du Danemark en matière de restrictions et d'interdictions ciblées.

En 2024, le Gouvernement et les différents partis politiques¹⁰⁶ ont conclu un accord sur un plan national d'action PFAS¹⁰⁷. Il a été doté d'un budget de 404 millions DKK pour sa première phase 2024-2027. Ce plan fixe un cadre d'action structuré et vise à « *protéger les citoyens contre leur exposition aux PFAS dans leur vie quotidienne et dans l'environnement. Les efforts déployés auront un impact considérable, notamment en privilégiant l'élimination des PFAS de l'eau potable et la dépollution des sols, l'interdiction et l'élimination progressive des PFAS dans les produits et l'industrie, la collaboration avec le secteur privé et la diffusion d'informations complètes et actualisées sur les PFAS auprès du public.* ».

¹⁰⁶ Le gouvernement danois, les Démocrates danois, la Gauche verte, l'Alliance libérale, le Parti populaire conservateur, l'Alliance rouge verte danoise, le Parti social libéral danois et l'Alternative

¹⁰⁷ <https://mim.dk/media/hszhzysc/agreement-on-a-national-action-plan-for-pfas.pdf?>

Concernant les boues de STEU, le plan national d'actions PFAS prévoit que « *Les parties conviennent de la nécessité de fixer des valeurs limites contraignantes pour les PFAS dans les boues d'épuration à des fins agricoles de 0,01 mg/kg de matière sèche pour le PFAS4 et de 0,05 mg/kg de matière sèche pour le PFAS22.* »

2. **Encadrement et seuils fixés pour les PFAS dans les MFSC**

Les composés PFAS ciblés par le cadre de référence

Les autorités danoises prévoient une limitation des quantités de 22 PFAS dont 10 acides perfluorés carboxyliques (PFCA), 10 acides perfluorés sulfoniques (PFSA), un précurseur (PFOSA) et un fluorotélomère (6 :2 FTS) :

- PFCA : PFBA ; PFPeA ; PFHxA ; PFHpA ; PFOA ; PFNA ; PFDA ; PFUnDA ; PFDODA ; PFTrDA ;
- PFSA : PFBS ; PFPeS ; PFHxS ; PFHpS ; PFOS ; PFNS ; PFDS ; PFUnDS ; PFDODS ; PFTrDS ;
- autres composés PFAS : PFOSA (un précurseur) et 6 :2 FTS (fluorotélomère).

Les valeurs de référence retenues

Les valeurs de référence existantes ont été établies en deux étapes.

En 2021, l'Agence danoise de protection de l'environnement (Danish Environmental Protection Agency, Miljøstyrelsen) a publié deux valeurs-seuil indicatives (« cut-off values » / indicative limit values) pour la teneur en PFAS dans les boues de stations d'épuration destinées à être utilisées en agriculture :

- somme de quatre PFAS clés (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS) : $\leq 10 \mu\text{g/kg MS}$;
- somme de 22 PFAS analysés : $\leq 400 \mu\text{g/kg MS}$.

L'approche adoptée était préventive : ces seuils, établis sur la base d'une étude bibliographique menée par l'Agence, étaient proposés comme indicatifs pour orienter les autorités locales et les exploitants de stations d'épuration vers des concentrations de PFAS dans les boues considérées compatibles avec des critères de qualité du sol, de protection des eaux souterraines, eaux de surface et de la chaîne alimentaire via les cultures.

Pour être utilisées en agriculture, les boues doivent répondre à ces seuils indicatifs, et si cela n'est pas possible, elles doivent être traitées autrement ou destinées à des filières non agricoles (par exemple incinération, traitement thermique). Pour autant, ces valeurs ne sont pas juridiquement contraignantes.

En 2024, le plan national d'action PFAS retient des valeurs seuils encore plus restrictives pour les boues de STEU valorisées en agriculture, sur la base de travaux scientifiques commandités par l'Agence (cf. 3. méthode de détermination des seuils) :

- somme de 4 PFAS inférieure à $10 \mu\text{g/kg de MS}$;
- somme de 22 PFAS inférieure à $50 \mu\text{g/kg de MS}$.

Les contraintes de suivi

La qualité des boues doit être contrôlée une fois par an pour les polluants organiques (une fois tous les trois mois pour les métaux lourds). La qualité des sols doit être contrôlée avant le premier épandage de boues.

Les contraintes d'épandage

L'épandage agricole des boues est autorisé à hauteur de sept tonnes/ha/an.

3. Méthode de détermination de ces seuils

Dans la perspective de la définition de « valeurs-seuil indicatives pour les teneurs en PFAS des boues de stations d'épuration », l'Agence Danoise de protection de l'environnement avait commandité une étude scientifique approfondie, coordonnée par l'Université d'Aarhus. Le rapport « Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge »¹⁰⁸ a été remis en 2023.

Son objectif était de proposer, sur des bases scientifiques robustes, des valeurs-seuils pour la teneur en PFAS des boues de STEU compatibles avec les enjeux de protection des eaux de surface, des eaux souterraines, des sols et de la santé humaine.

La démarche repose sur l'exploration de quatre voies de contamination par les PFAS liant l'épandage des boues à des enjeux de santé humaine (cibles : eau potable, alimentation) ou environnementale (cibles : sol, eaux de surface) :

- boues → sol → biote du sol (microorganismes, invertébrés, espèces végétales) ;
- boues → sol → eau interstitielle du sol → eaux de surface → organismes aquatiques ;
- boues → sol → eau interstitielle du sol → eaux souterraines → eau potable → humains ;
- boues → sol → cultures fourragères → bétail → aliments (viande, produits laitiers) → humains.

Pour chacune des cibles de ces voies de contamination, des « teneurs acceptables » ont été définies.

Ce rapport s'est concentré principalement sur quatre PFAS (PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS) entrant dans la définition des critères de qualité des eaux souterraines. La seule source de PFAS considérée est l'apport par les boues de stations d'épuration (pas de prise en compte des apports atmosphériques ou de la diffusion à partir de sources ponctuelles).

Modélisation des processus : la modélisation repose sur des méthodes et équations issues des documents publiés¹⁰⁹ par l'ECHA et par l'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA).

Les principaux processus restitués par le modèle sont :

Adsorption-désorption : elles couvrent l'adsorption-désorption des PFAS sur ou depuis la phase minérale ainsi que l'adsorption-désorption sur ou depuis la phase organique. Ces processus présentent des dynamiques rapides.

L'adsorption-désorption répartit les PFAS, notamment ceux apportés via les boues, entre la phase solide (matrice du sol) et la phase aqueuse (eau interstitielle). Ces processus dépendent du PFAS, du sol (minéralogie, matière organique, pH), de la température ...). Le coefficient de distribution (K_d) est le rapport entre la teneur en PFAS de la phase solide ($\mu\text{g}/\text{kg MS}$) à la concentration de la phase liquide (eau interstitielle) ($\mu\text{g}/\text{l}$) une fois l'équilibre atteint. Plus K_d est élevé, plus le PFAS est adsorbé et moins il est mobile. Les valeurs des coefficients de distribution sont issues de la littérature scientifique : les valeurs ont été compilées et la médiane a été retenue comme valeur de base des

¹⁰⁸ « Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge », 2023, Environmental project n°2232, Ministry of Environment of Denmark. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2023/03/978-87-7038-497-1.pdf>

¹⁰⁹ «Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R16 : environmental exposure assessment» (<https://www.rivm.nl/en/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment-chapter-r16-environmental>)

paramètres.

Piégeage : le piégeage (phase organique condensée, microporosité, encapsulation...) présente des dynamiques lentes et des stockages peu réversibles (PFAS non extractibles, non mobilisables).

Dégradation des PFAS : c'est le processus par lequel les PFAS se dégradent en molécules plus petites (éventuellement d'autres PFAS). Il est caractérisé par le temps de demi-vie. La demi-vie de dégradation des PFAS (DT50) a été fixée, par mesure de précaution, à 100 ans dans la majorité des calculs. Très peu d'études ont déterminé DT50.

Valeurs cibles :

Eaux souterraines : les seuils tolérés de contamination des eaux souterraines en vigueur sont respectivement de 2 ng/l pour PFAS₄ et de 100 ng/l pour PFAS₂₂.

Eaux de surface : les normes danoises sont liées aux normes européennes de qualité des eaux de surface (DCE) et correspondent pour le PFOS à une teneur moyenne annuelle de 0,65 ng/l, et à une valeur maximum tolérée de 36 µg/l.

Sols : il n'existe pas de normes de qualité des sols fondées sur l'écotoxicologie. Sur la base des campagnes de mesure, les valeurs indicatives de teneur en PFAS des sols (ETCsoil) sont de 16 µg/kg pour le PFOS et de 2,0 µg/kg pour le PFOA (source EPA 2023 "Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge")¹¹⁰.

Alimentation : la VTR établie en 2020 par l'EFSA est une dose hebdomadaire tolérable de 4,4 ng / kg masse corporelle pour PFAS₄.

Le modèle est généralement utilisé pour simuler les dynamiques de stockage dans les sols et de transfert vers les eaux de surface, les eaux souterraines, et les végétaux à partir de scénarios d'apports. Dans le cadre de l'étude, le modèle a été utilisé en « rétropropagation », de façon à déterminer les apports compatibles avec les valeurs cibles pour les différents compartiments (sols, eaux de surface, eaux souterraines, ... cf. ci-dessus).

Prédictions du modèle : le rapport conclut :

- en rappelant tout d'abord qu'il est impossible de déterminer de manière fiable une limite supérieure absolue « sûre » pour les PFAS dans les boues, en raison des approximations effectuées et des incertitudes fortes tant sur les valeurs-cibles que sur la modélisation des transferts de PFAS dans les sols ;
- qu'une concentration dans les boues de 15 µg /kg MS pour PFAS₄ est hautement susceptible d'être en totale conformité avec les seuils environnementaux actuels dans le sol, l'eau douce et les eaux souterraines.

En conséquence le rapport recommande, par mesure de précaution et de gestion des risques, d'utiliser la concentration maximale indicative de 15 µg PFAS₄ /kg MS comme base pour dériver une valeur limite réglementaire.

4. Evaluation des impacts sur les filières, et mesures d'accompagnement

L'étude de 2023 « Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge »¹¹¹ du ministère de

¹¹⁰ EPA, 2023, Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge

¹¹¹ « Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge », 2023, Environmental project n°2232, Ministry of Environment of Denmark. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2023/03/978-87-7038-497-1.pdf>

l'environnement présente dans son annexe C les concentrations en 22 PFAS mesurées dans 215 échantillons de boues provenant de stations d'épuration :

- pour la somme de quatre PFAS prioritaires (PFAS4), la médiane (« 50P ») observée est de 7,49 µg/kg MS (valeurs entre 0,36 et 65,15 µg/kg) ;
- pour la somme des 22 PFAS retenus (PFAS22), la médiane observée est de 22,94 µg/kg MS (valeurs entre 5,3 et 110,15 µg/kg MS).

	PFAS ₄	PFAS ₂₂	PFAS ₄ : PFAS ₂₂	PFOS: PFAS ₄	PFOA: PFAS ₄	PFNA: PFAS ₄	PFHxS: PFAS ₄
	µg/kg	µg/kg	%	%	%	%	%
MIN	0,36	5,35	2,89	11,85	0,98	0,49	0,39
10P	3,40	12,48	16,53	25,00	5,02	3,37	1,11
50P	7,49	22,94	31,60	73,53	12,14	8,42	3,81
90P	17,83	56,35	56,63	87,63	25,00	25,00	25,00
MAX	65,15	110,15	82,21	98,00	46,84	50,03	34,92
N Total	215	215	215	215	215	215	215
N > LOQ	215	215	215	215	215	215	215

Tableau n°5 : analyse statistique des teneurs en PFAS des boues des stations d'épuration au Danemark (résultats sur la base de 215 échantillons de boue¹¹¹)

Ces niveaux médians sont inférieurs aux limites réglementaires qui ont été proposées (par exemple, 400 µg/kg puis 50 µg/kg MS pour la somme des 22 PFAS), pour autant plus de 10 % des boues produites pourraient s'avérer non conformes à ces deux seuils.

La réglementation étant récente, le recul n'est pas encore suffisant pour identifier des impacts concrets.

6.6. ETATS DU MAINE ET DU MICHIGAN (USA)

Aux États-Unis, les engrais et amendements sont réglementés par chaque État et non au niveau fédéral. Cette situation a donné lieu à un large éventail d'approches à travers le pays, allant de l'inaction à l'interdiction totale de l'épandage de biosolides¹¹².

Après une présentation synthétique de la stratégie PFAS de l'Environmental Protection Agency (EPA) au niveau fédéral, nous présentons ci-après, de manière non exhaustive, les modalités de gestion des PFAS dans les boues par les Etats du Maine et du Michigan.

1. La stratégie PFAS de l'US EPA

La stratégie de l'US EPA contre les PFAS repose sur une approche « multi-volets » visant à protéger la santé publique, surveiller et réduire la contamination, renforcer la réglementation et responsabiliser les pollueurs.

L'EPA a ainsi adopté une PFAS Strategic Roadmap (Feuille de route PFAS) structurée autour de trois axes principaux :

- Recherche : renforcer la science, la compréhension des risques pour la santé et des impacts environnementaux des PFAS, et développer des méthodes de détection.
- Restriction : réduire l'entrée de PFAS dans l'air, l'eau et les sols, notamment par des normes, des interdictions ou des limites.
- Remédiation : accélérer les nettoyages et interventions sur les sites contaminés.

En 2024, l'EPA a établi les premières normes nationales juridiquement contraignantes pour la qualité de l'eau potable, limitant la concentration de plusieurs PFAS, comme le PFOA et le PFOS. Elles s'accompagnent de financements pour aider les États et territoires à surveiller et traiter l'eau contaminée. L'EPA a par ailleurs publié de nouvelles méthodes analytiques pour mesurer un grand nombre de PFAS dans différents milieux (eau, sols, sédiments, air)¹¹³ et a intégré plusieurs PFAS dans des programmes de suivi comme le Toxics Release Inventory (registre des émissions toxiques).

Concernant spécifiquement les boues de stations d'épuration, l'EPA se concentre actuellement sur des travaux scientifiques et méthodologiques, plutôt que sur une régulation finale immédiate des PFAS dans les boues de stations d'épuration. Néanmoins, ces travaux visent à préparer des décisions réglementaires plus robustes à l'avenir et à guider les autorités locales et les industries vers des pratiques réduisant la présence des PFAS dans les boues.

2. Etat du Maine : le choix de l'interdiction d'épandage

Règlementation : à la suite de la contamination avérée de plusieurs exploitations laitières via l'épandage de biosolides, le Maine a mis en œuvre une nouvelle loi en avril 2022 qui interdit l'épandage de biosolides dont les niveaux de PFAS totaux sont égaux ou supérieurs à 1 µg/kg MS.

¹¹²Les biosolides sont définis comme le principal produit organique solide issu du traitement des eaux usées qui peut être valorisé. Par facilité, les termes « biosolides » et « boues » sont utilisés ici de manière interchangeable.

¹¹³ EPA Method 1633, qui permet de mesurer un grand nombre de PFAS (40 analysés) dans plusieurs types de matrices, y compris les boues de stations d'épuration. Cette méthode améliore la fiabilité des données de surveillance et est en cours d'intégration dans le cadre réglementaire des méthodes officielles.
<https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-12/method-1633a-december-5-2024-508-compliant.pdf>

Ce seuil extrêmement bas conduit en réalité à l'interdiction effective de l'épandage de biosolides. Par conséquent, les biosolides produits dans le Maine doivent être soit transportés en dehors de l'État vers des États plus permissifs (y compris exportés vers le Canada), soit éliminés par d'autres moyens que l'épandage.

Accompagnement : en parallèle, l'État du Maine a également introduit plusieurs lois mettant en œuvre des dispositions d'accompagnement :

- la loi LD 558¹¹⁴ approuvée le 10 juin 2021 exige l'élaboration d'un plan d'étude de recherche complet pour identifier et aider les agriculteurs qui pourraient être touchés par la contamination par les PFAS ;
- la loi LD 221¹¹⁵ (approuvée le 1er juillet 2021) prévoit des crédits budgétaires pour les années fiscales 2021-2023 afin de fournir des fonds pour réduire, nettoyer et atténuer les menaces ou les dangers posés par les PFAS, Cela comprend des fonds pour soutenir le traitement de l'eau potable et les analyses de l'environnement et la gestion des déchets contaminés en raison des PFAS. Son objectif est de soutenir les agriculteurs touchés par la contamination de leurs champs par les PFAS.

3. Etat du Michigan : une approche par paliers

En 2021, après un examen approfondi des données disponibles sur les PFAS présents dans les biosolides, le département de l'Environnement, des Grands Lacs et de l'Énergie (EGLE) a mis en œuvre une stratégie provisoire pour contrôler l'épandage de biosolides contenant des PFAS¹¹⁶.

Cette stratégie provisoire, entrée en vigueur **le 1^{er} janvier 2024**, visait à servir de mesure de protection jusqu'à ce que l'US EPA achève son évaluation fondée sur les risques des PFAS présents dans les biosolides (la version finale n'étant pas encore publiée).

Elle se concentre pour l'instant sur deux PFAS : le PFOA et le PFOS.

¹¹⁴ <https://legislature.maine.gov/doc/8093>

¹¹⁵ <https://legiscan.com/ME/text/LD221/2021>

¹¹⁶ Land application of biosolids containing PFAS: interim strategy, mars 2021 (EGLE)
<https://www.michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/biosolids/pfas-related>

EGLE a confronté les données de contamination publiées et les résultats d'une étude menée auprès de 42 stations d'épuration municipales, ce qui lui a permis de classer les matières dans trois groupes en fonction du niveau de contamination.

Paramètre PFAS	Concentration en µg/kg MS	Seuil intermédiaire (µg/kg MS)	Concentration en µg/kg MS	Seuil maximal (µg/kg MS)	Concentration en µg/kg MS
PFOS OU PFOA	<20	20	$20 \leq C < 100$	100	≥ 100
	Aucune restriction d'usage Obligation de communiquer chaque année un résultat d'analyse à l'agriculteur		Utilisation encadrée Application limitée à 1,5 tonne MS/ acre ¹¹⁷ ou stratégie d'atténuation des risques approuvée par EGLE au moins 14 jours avant épandage. Plan de réduction des sources de contamination et investigations.		« Biosolides impactés industriellement » Interdiction de valorisation en milieu agricole Plan de réduction des sources de contamination et investigations

Tableau n°6 : seuils de gestion du PFOA et du PFOS dans les biosolides, dans l'Etat du Michigan

Cette approche graduée à deux seuils s'avère efficace pour empêcher les biosolides fortement contaminés d'atteindre les terres agricoles, tout en permettant de poursuivre les efforts d'adaptation des process des stations d'épuration ou de réorientation des déchets.

Les biosolides contaminés à un niveau acceptable se voient imposer des mesures d'atténuation, impliquant une régulation des doses d'épandage permises. Dès dépassement du seuil le plus faible (20 µg/kg MS pour l'un ou l'autre PFAS indicateur), un plan de réduction des sources de contamination doit être entrepris.

Les résultats sur la période 2018-2024 attestent que l'approche d'EGLE a permis de réduire avec succès le niveau de PFOS et de PFOA présent dans les biosolides, par l'identification et la réduction des sources de contamination associée à une surveillance analytique des stations considérées comme exposées à des activités industrielles¹¹⁸.

Cette stratégie a inspiré la méthode de gestion retenue par le Québec.

¹¹⁷ Environ 0,405 hectare.

¹¹⁸ <https://www.michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/biosolids/pfas-related>

Annexe 7 : Définitions

Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) : installations pouvant avoir des impacts (pollution de l'eau, de l'air, des sols, etc.) et présenter des dangers (incendie, explosion, etc.) pour l'environnement, la santé et la sécurité publique. Elles sont soumises à la réglementation spécifique des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Classées selon le niveau de danger qu'elles présentent elles sont soumises à des procédures de déclaration, d'enregistrement, d'autorisation.

Installations, ouvrages, travaux, activités (IOTA) : infrastructures ou projets ayant des impacts ou présentent des dangers pour le milieu aquatique et la ressource en eau : prélèvements, rejets, impacts sur le milieu aquatique, le milieu marin, la sécurité publique, etc. Pour ces raisons, les IOTA sont soumis à des réglementations spécifiques.

Matières fertilisantes d'origine résiduaire (MAFOR) : matières diverses issues de déchets et utilisées pour la fertilisation agricole, telles que les effluents d'élevage, les boues issues du traitement des eaux usées urbaines ou domestiques, les matières, eaux et boues d'épuration issues des industries, les composts, les digestats de méthanisation, ... Les MAFOR constituent une sous-partie des MFSC.

Matières fertilisantes et supports de cultures (MFSC) : définies par l'article L255-1 du code rural et de la pêche maritime (CRPM), elles englobent une plus large gamme de produits, y compris les matières naturelles, animales, minérales, et synthétiques, qui peuvent être utilisées pour la fertilisation et l'amélioration des sols. On distingue d'une part les matières fertilisantes apportées sur les sols qui intègrent les engrais, les amendements et les biostimulants et, d'autre part, les supports de culture qui servent eux-mêmes de milieu de culture à certains végétaux.

Recherche et réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau (RSDE) : Action mise en place afin d'améliorer la qualité de l'environnement aquatique. RSDE 1 (2002-2007) a permis de réaliser l'inventaire de 106 substances chimiques dans les rejets aqueux de 3000 sites industriels. RSDE 2 (2009-2016), encadrée par la circulaire du 5 janvier 2009, a permis la mise en place d'actions déclinées par secteur industriel (surveillance, quantification, réduction des flux de substances dangereuses) généralisées à l'ensemble des ICPE soumises à autorisation et ayant un rejet dans le milieu aquatique.

Siccité : taux de matière sèche des boues. La consistance des boues dépend du taux de matière sèche. Les boues liquides ont une siccité comprise entre 0% et 10%, les boues pâteuses entre 10% et 25%, les boues solides entre 25% et 85%, les boues sèches ont une siccité supérieure à 85%.

Stations d'épuration (STEP), stations de traitement des eaux usées (STEU) : Equipements permettant de traiter les eaux usées, c'est-à-dire les eaux utilisées et dégradées par des usagers domestiques, urbains ou industriels, avant de les rejeter dans les milieux naturels, afin de ne pas altérer l'environnement. Dans une STEU, les eaux usées passent une succession d'étapes : prétraitement (dégrillage, dessablage, décantation primaire dont les résidus forment les boues), traitement secondaire (dégradation biologique complétée par des procédés physico-chimiques, décantation secondaire, clarification), traitement des boues des STEU.

Substances perfluoroalkyles ou polyfluoroalkyles (PFAS) : molécules formées d'une chaîne d'atomes de carbone plus ou moins longue, linéaire, ramifiée ou cyclique, contenant au moins un groupement méthyl (CH₃) ou méthylène (CH₂), saturé et complètement fluoré. À ce squelette fluorocarboné s'ajoutent différents groupes fonctionnels, conférant des propriétés spécifiques selon les composés.

Annexe 8 : Les campagnes RSDE dans le bassin Loire Bretagne

Résumé : Le taux de conformité des boues de stations d'épuration françaises face aux réglementations « PFAS dans les boues de STEU » de différents pays (États-Unis, Allemagne, Belgique, Danemark) a été évalué sur la base des données de teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 équivalent-habitants acquises dans le cadre du RSDE Loire Bretagne 2022. Ces valeurs fournissent une première indication, mais l'échantillon est encore trop réduit pour permettre une généralisation nationale.

Pour les boues traitées déshydratées (9 STEU, 48 échantillons) le taux de conformité aux réglementations américaine, allemande, belge-wallonne est supérieur à 98%, et de 88% face à la réglementation danoise.

Pour les boues brutes liquides en sortie de file eau (26 STEU, 139 échantillons) le taux de conformité face aux réglementations américaine, allemande, belge-wallonne est de ~75%, et de 62% face à la réglementation danoise.

La campagne RSDE Loire-Bretagne 2022 a permis de rassembler des mesures de teneurs en PFAS des boues de STEU de plus de 10 000 équivalent-habitants, sur 332 échantillons de boues issus de 52 STEU (dont 3 STEU qui ont opéré des prélèvements de boues en deux points, soit 55 STEU virtuelles). De façon générale chaque STEU a procédé à 6 prélèvements de boues à des dates différentes sur la période 2022-2024. Ces prélèvements ont été réalisés soit en sortie de la File Eau (points A6 ou S4, cf. Figure 6), soit en sortie du process de traitement et déshydratation des boues (point S6). Chaque échantillon prélevé a fait l'objet de mesure des teneurs individuelles en 5 PFAS (PFOS, PFOA, PFDA, PFHxA, PFHxS).

Une première analyse statistique des résultats a mis en lumière certaines valeurs de teneurs en PFAS anormalement élevées (par rapport aux données de la bibliographie nationale et internationale). Il en résultait des taux de non-conformité virtuelle, par rapport aux réglementations « PFAS dans les boues » d'autres pays », anormalement élevés (~50%).

Ceci a conduit à approfondir l'analyse critique des données. Deux facteurs majeurs sont apparus :

- L'un des laboratoires d'analyse fournit des teneurs en PFAS anormalement élevées, 10 à 100 fois supérieures aux teneurs de trois autres laboratoires et bien en dehors des gammes de teneurs en PFAS des boues connues dans la littérature nationale ou internationale. Les données de ce laboratoire d'analyse, jugées irréalistes pour plusieurs raisons détaillées ci-après, ont été retirées du jeu de données.
- Les échantillons de boue prélevés en sortie de la File Eau (boues brutes liquides prélevées en A6 ou S4) présentent des teneurs en PFAS significativement plus élevées que les échantillons prélevés après traitement des boues (boues traitées déshydratées prélevées en S6). Seules les mesures réalisées sur les échantillons de boue prélevés en S6 sont représentatives des teneurs en PFAS des boues valorisées par épandage. En conséquence l'analyse statistique a porté à la fois sur le jeu de données d'ensemble (hors laboratoire écarté) et sur les jeux de données séparés (échantillons prélevés en A6-S4 ; échantillons prélevés en S6).

Analyse des teneurs en PFAS par laboratoire d'analyse

Les organismes préleveurs (9) et laboratoires d'analyse (6) sont connus¹¹⁹ pour 46 STEU (dont 3 STEU avec double point de prélèvement) et 298 échantillons de boue. Chacun des 6 laboratoires d'analyse a réalisé les mesures de teneur en PFAS des échantillons de boues selon des méthodes propres, internes au laboratoire. Les limites de quantification diffèrent ainsi d'un laboratoire à l'autre.

(1) **Pourcentage de mesures sous la LQ** : Une analyse du pourcentage de mesures dont le résultat est sous la limite de quantification (cf. tableau 1) met en lumière plusieurs faits :

- Aucun laboratoire ne présente systématiquement des mesures sous la LQ.
- Un laboratoire présente un pourcentage de mesures « sous la LQ » de 24%. Ses valeurs de LQ ne sont pas plus faibles que les autres laboratoires. Ce faible pourcentage s'est avéré directement lié aux valeurs très élevées des mesures de teneurs en PFAS de ce laboratoire.
- Les cinq autres laboratoires présentent des pourcentages équivalents de mesures « sous la LQ », compris entre 59% et 69% (globalement pour ces 5 laboratoires, ~2/3 des mesures de teneurs en PFAS des boues présentent des valeurs très faibles, sous la LQ).

LQ (µg/kg MS)	PFOA	PFHxA	PFDA	PFOS	PFHxS	Pourcentage de mesures sous la LQ		
						Nb mesures	Nb mes. <LQ	% <LQ
Analyseur	5347	5978	6509	6561	6830			
LABO A	5	5	2	20	5	70	48	69%
LABO B	20 (50)	20 (50)	20 (50)	5	20 (50)	702	169	24%
LABO C	2	2	2	2/5	2	233	137	59%
LABO D	5 (20)	5 (20)	2 (20)	10	5 (20)	254	163	64%
LABO E	5	5	2	10	5	126	84	67%
LABO F	20	20	20	5	20	30	19	63%

Tableau n°7 : valeurs des limites de quantification et pourcentage de mesures sous la LQ. Pour chacun des 6 laboratoires d'analyse (en ligne), valeurs des LQ pour chacun des 5 PFAS (en colonne) et nombre et pourcentage de mesures sous la LQ.

(2) **Teneurs en PFAS** : Une analyse statistique a été menée sur les valeurs de sommes de teneurs en 5 PFAS des échantillons (moyennées par STEU) (cf. figure 1). Elle met en lumière le fait que l'un des laboratoires d'analyse fournit des valeurs de teneurs en PFAS des boues beaucoup plus élevées que les autres (d'un facteur 10 à 100). Aucun élément n'indique un risque PFAS spécifique aux STEU suivies par ce laboratoire.

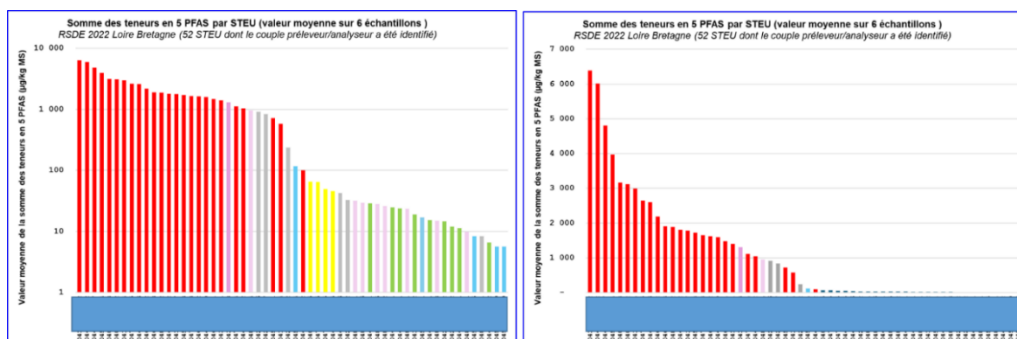


Figure n°6 : histogramme des sommes de teneurs en 5 PFAS par STEU (moyenne des six échantillons de boue pour une même STEU). Ordonnées en échelle logarithmique à gauche, en échelle naturelle à droite. La couleur de la barre d'une STEU représente son laboratoire d'analyse. Le laboratoire d'analyse représenté en rouge présente des valeurs d'un facteur 10 à 100 supérieures aux valeurs des autres laboratoires.

¹¹⁹ En revanche pour 6 STEU (34 échantillons), ils n'ont pas encore été formellement identifiés.

A défaut de mesures croisées des différents laboratoires sur un même jeu d'échantillons de boues, qui permettraient d'évaluer objectivement leur cohérence et d'éventuelles divergences, cette analyse a conduit à questionner le réalisme des données du laboratoire aux valeurs très élevées.

Un dernier élément a été pris en compte, communiqué par ce laboratoire : il a réalisé en 2025, à la demande de l'un des exploitants et selon un nouveau protocole analytique, de nouvelles mesures sur des boues de plusieurs STEU pour lesquelles il avait trouvé en 2023-2024 des résultats très élevés. Ses nouveaux résultats de 2025 rejoignent l'ordre de grandeur des valeurs mesurées par les 5 autres laboratoires en 2023-2024.

Sur cette base il a été décidé d'écarter du jeu de données les résultats d'analyse de ce laboratoire, dont les valeurs très élevées ont été jugées non réalistes. De même ont été écartées les mesures réalisées sur des STEU sans identification claire du laboratoire d'analyse. Les valeurs pour les 27 STEU restantes sont présentées dans la figure ci-dessous.

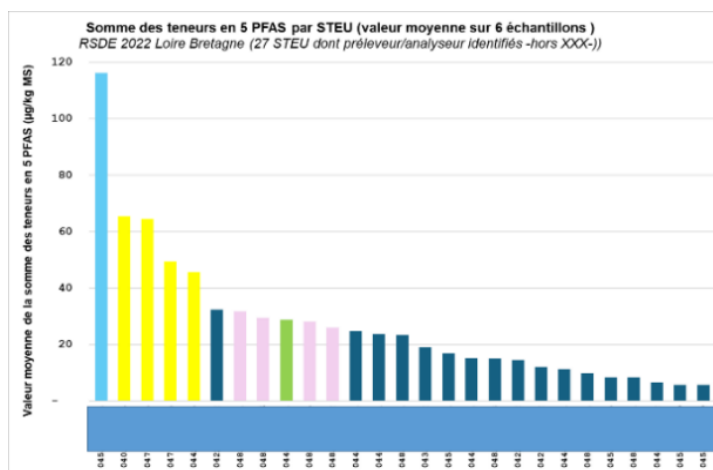


Figure 6a : Histogramme des sommes de teneurs en 5 PFAS par STEU (moyenne des 6 échantillons de boue pour une même STEU). Ordonnées en échelle naturelle. La couleur de la barre d'une STEU représente son laboratoire d'analyse (hors laboratoire d'analyse écarté).

Analyse des taux de conformité

Il résulte du traitement des données de teneurs en PFAS des boues du RSDE Loire Bretagne 2022, que le taux de conformité des échantillons de boues de STEU aux réglementations « PFAS dans les boues de STEU » de différents pays est supérieur à 98%, à l'exception de la réglementation danoise (taux de conformité 88 %).

RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (tous points de prélèvt)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
A6-S4-S6 187 échant. 34 STEU	conformité indéterminée (nb ech.)	42	42	42	46	46	23
	conformité déterminée (nb ech.)	145	145	145	141	141	164
	non conforme (nb ech.)	24	28	24	20	42	31
	conforme (nb ech.)	121	117	121	121	99	133
	taux de non-conformité (%)	17%	19%	17%	14%	30%	19%
RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (prélèvement A6-S4, boues brutes liq.)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
A6-S4 139 échant. 25 STEU	conformité indéterminée (nb ech.)	37	37	37	41	41	23
	conformité déterminée (nb ech.)	102	102	102	98	98	116
	non conforme (nb ech.)	24	28	24	20	37	30
	conforme (nb ech.)	78	74	78	78	61	86
	taux de non-conformité (%)	24%	27%	24%	20%	38%	26%
RSDE Loire Bretagne 2022 : teneur en PFAS des boues de STEU (prélèvement au point S6 après traitement)							
Réglementation (Pays)		Maryland	New York	Michigan	Allemagne	Danemark	Wallonie
S6 48 échant. 9 STEU	conformité indéterminée (nb ech.)	5	5	5	5	5	0
	conformité déterminée (nb ech.)	43	43	43	43	43	48
	non conforme (nb ech.)	0	0	0	0	5	1
	conforme (nb ech.)	43	43	43	43	38	47
	taux de non-conformité (%)	0%	0%	0%	0%	12%	2%

Tableau 7a : Confrontation des teneurs en PFAS des boues de STEU mesurées dans le cadre du RSDE LB 2022 aux seuils des réglementations de différents pays.

Annexe 9 : Illustration d'un protocole d'échantillonnage, applicable à différentes MFSC

Ce protocole a été proposé dans l'instruction technique du 18 août 2025 de la DGAL, applicable à différentes MFSC tels que les engrais liquides, les engrais sous forme de granulés, ou encore les digestats

Ce protocole a été réalisé selon l'Arrêté du 8 décembre 1982 (J.O du 06-01-1983 - modalités techniques du contrôle officiel des matières fertilisantes et supports de culture et vérifications auxquelles le responsable de la mise sur le marché doit procéder) et renforcé par :

- La norme NF U 44-108 (1982) : Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines, boues liquides, échantillonnage en vue de l'estimation de la teneur moyenne d'un lot ;
- La norme NF EN 12579 (2013) : Amendements organiques et supports de culture – Échantillonnage.

Définitions

Lot : Quantité de fertilisant fabriqué par le même procédé, dans les mêmes conditions, et ayant les mêmes caractéristiques.

Points de prélèvements : localisation précise des prélèvements des échantillons élémentaires (dans un big-bag, un sac, sur l'andain (andain = tas long de plusieurs dizaines de mètres).

Échantillon élémentaire : Petite quantité représentative de fertilisant prélevé par point de prélèvement (dans l'espace ou dans le temps) en vue de la constitution de l'échantillon global.

Échantillon global : Quantité de fertilisant constituée en réunissant tous les prélèvements d'échantillons élémentaires.

Échantillon final : Partie représentative de l'échantillon global prélevé sur un même lot et obtenue si nécessaire par un procédé quartage.

Nombre d'échantillons élémentaires à réaliser en fonction de la taille du lot

- Si le lot est inférieur à 2,5 tonnes (T) → 7 échantillons élémentaires.
- Si le lot est compris entre 2,5 et 80 T → racine carrée de (20 fois le nombre de tonnes constituant le lot) arrondie au nombre entier supérieur.
- Si le lot est supérieur à 40 T → 40 échantillons élémentaires.

Matériel minimum nécessaire

Le prélèvement devra être réalisé à l'aide d'outils métalliques non vernis et sera disposé dans des contenants en verre secs, étanches et garantissant une non dégradation de l'échantillon. Si le bouchon permettant de refermer le contenant est en matériau plastique ou contient du plastique, il faudra disposer une feuille de papier aluminium sur l'ouverture afin d'empêcher le contact du bouchon avec l'échantillon de fertilisant. L'échantillon sera transporté au froid et transmis au laboratoire la même journée que le prélèvement. En cas d'impossibilité, le prélèvement sera congelé en attendant le transfert au laboratoire.

Pour la réalisation du prélèvement, prévoir :

- 1 bidon métallique de 100L-200L, sinon plusieurs seaux métalliques d'au moins 11L ;
- 1 outil de mélange, idéalement en métal non verni ou en bois non traité ;
- 1 balance ;
- 1 bécher inox ou verre pour le prélèvement ;
- 6 contenants en verre de minimum 1L ;
- Papier aluminium ;
- Glacière de transport ;

- Sac poubelle ;
- EPI : Gants jetables, masque FFP3, lunette de protection, combinaison, bottes ;
- Pelles en métal non vernies pour les fertilisants solides ;
- Pelle et fourche bêche à manche en bois et à tête métallique non vernie pour les fertilisants solides ;
- Toiles non teintées en coton utilisées pour la réalisation des opérations de quartage pour les fertilisants solides.

Présentation des étapes du protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage se décompose en **trois étapes majeures** :

Étape 1 : Préparation de l'échantillonnage et détermination du nombre de prélèvements élémentaires

Étape 2 : Réalisation des prélèvements élémentaires :

Les prélèvements sont réalisés en fonction des caractéristiques des unités de production et de stockage des fertilisants. Le nombre de prélèvements élémentaires est à calculer selon la masse du lot (voir-ci-dessus), et représente **au moins 500 g** de fertilisant.

Étape 3 : Constitution de l'échantillon final :

Cette étape consiste à regrouper l'ensemble des échantillons élémentaires en un seul **échantillon global** considéré comme représentatif du lot étudié.

Il est nécessaire de procéder à une méthode de réduction qui permet de rapporter de façon homogène l'échantillon global à une quantité désirée (**au moins 6 kg**) qui finalement représente **l'échantillon final**.

Echantillonnage des fertilisants liquides

L'échantillonnage est réalisé au niveau de l'extraction des fertilisants « prêts à épandre », à partir des cuves de stockage, des cuves de post-fermentation ou des silos de stockage.

Étape 1. Si la cuve de stockage dispose d'un système d'agitation, ce dernier est activé durant la nuit précédant le prélèvement et sur une durée d'au moins deux heures.

- Dans le cas où l'installation permet de différencier les échantillons élémentaires dans le temps et dans l'espace, suivre les étapes 2 et 3 ci-dessous.
- Dans le cas contraire, un prélèvement de 100 à 150L est effectué avant de passer directement à l'étape 3.

Étape 2. Les prélèvements élémentaires sont effectués sur la boucle de recirculation en fonctionnement et espacés de 2 à 5 minutes. Les prélèvements élémentaires sont regroupés au fur et à mesure dans un fut métallique non vernis parfaitement propre pour constituer l'échantillon global.

Étape 3. L'échantillon global (100 à 150 L) est mélangé et soigneusement homogénéisé avec une barre métallique par une agitation manuelle durant 5 à 10 minutes. L'échantillon final est constitué en prélevant à l'aide d'un bécquet de prélèvement en inox ou en verre, à différents endroits du contenant, pour constituer un échantillon final permettant de remplir les bocaux en verre.

Echantillonnage des fertilisants solides

Le fertilisant solide peut se présenter sous différentes configurations :

- En tas à l'extérieur ou sous abris
- En andains (tas long de plusieurs mètres)
- Déjà conditionnés (big-bag, sacs, ...)



Matériel de prélèvement (Source : ADEME)

Étape 1. Préparation de l'échantillonnage

Dans le cas des fertilisants conditionnés, réaliser les prélèvements élémentaires dans plusieurs sacs/big-bag en respectant 4 prélèvements élémentaires par sac. Puis passer directement à l'étape 3.

Dans le cas des fertilisants en vrac (tas, andains). Demander à l'opérateur du site s'il dispose des engins (chargeuse, tracto-pelle, ...) permettant d'ouvrir le tas afin d'atteindre le cœur dudit tas.

Si non, passer à l'étape 2

Si oui, l'ouverture de l'andain/tas est réalisée après un nettoyage de la chargeuse la veille du prélèvement par rinçage à l'eau claire sur le site (afin d'éviter les contaminations du fertilisant). L'opérateur du site ouvre l'andain le jour des prélèvements à l'aide de la chargeuse. Le nombre d'ouvertures et leur positionnement dépend de la taille des lots. En considérant un andain classique, réaliser une ouverture tous les 3 mètres. La fraction de fertilisant écroulé à la base ne fait pas l'objet de prélèvement.



Tuyau de sortie du fertilisant liquide



Prélèvement sous agitation manuelle



Matériel



6 x 1L de l'échantillon final

Illustrations d'un prélèvement sur une installation avec une sortie unique en bas de la cuve de stockage.

Étape 2. Sélection et réalisation des prélèvements élémentaires

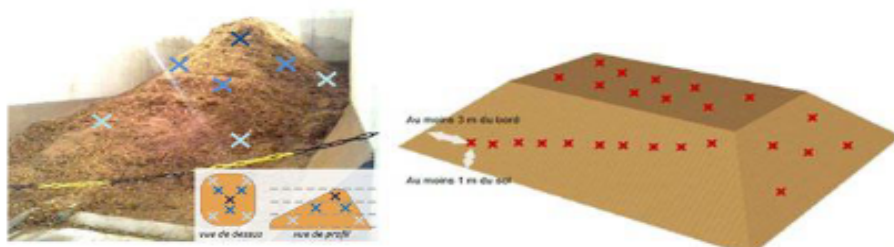
Dans le cas des fertilisants solides avec ouverture par une chargeuse

Au moins 4 points de prélèvement sont répartis sur toute la hauteur et la largeur de l'ouverture en respectant une distance de 1m entre chaque point. Cette opération est répétée pour chaque ouverture réalisée. Les prélèvements élémentaires sont réalisés en commençant par le bas afin d'éviter de contaminer le ou les niveaux non encore échantillonnés. Les prélèvements sont effectués à plus de 50 cm du sol. Les prélèvements élémentaires sont déversés au fur et à mesure dans un fut métallique (ou sur un tissu propre, voir liste de matériel ci-dessus) pouvant contenir l'intégralité des échantillons élémentaires. Des photographies sont prises pour représenter graphiquement la localisation des points de prélèvements.

Dans le cas des fertilisants solides sans ouverture par une chargeuse

Les points de prélèvements sont répartis en proportion du volume total du lot, en prenant en compte chaque face et le sommet du tas ou de l'andain afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble. Si possible, les points de prélèvements sont espacés d'au moins 1 m. Les prélèvements élémentaires sont réalisés en commençant par le bas afin d'éviter de contaminer le ou les niveaux non encore échantillonnés. De plus, les 20 premiers cm de la surface sont écartés et non intégrés dans l'échantillon élémentaire et les prélèvements sont effectués à plus de 50 cm du sol. Les prélèvements élémentaires sont déversés au fur et à mesure dans un fut métallique (ou sur un tissu propre, voir liste de matériel ci-dessus) pouvant contenir l'intégralité des échantillons élémentaires.

Des photographies sont prises pour représenter graphiquement la localisation des points de prélèvements.



Exemple de localisation des points de prélèvements (Crédits : ADEME et MESE Occitanie)

Étape 3. Réalisation de l'échantillon final

La réduction est réalisée par la méthode du quartage qui consiste à brasser l'échantillon prélevé, à le disposer en cône et à le diviser en quatre. Cette opération est réalisée plusieurs fois, sur les 2 quarts conservés lors de chaque réduction, jusqu'à l'obtention d'un échantillon final de 6 kg. L'échantillon final est conditionné dans des bocaux en verre pour l'envoi au laboratoire.

Annexe 10 : Échange de courriers entre la DREAL de Bassin Loire Bretagne et la DEB et la DGPR

L'objectif de cette annexe est de regrouper l'essentiel des échanges entre une DREAL de bassin et les directions d'administration centrale. Ces échanges illustrent bien les besoins de pilotage et d'accompagnement qui ont été listés dans les recommandations.

Le questionnement de la DREAL de bassin résulte d'un partage d'informations entre les DREAL et certains services instructeurs



Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Orléans le 19 octobre 2025

Le directeur régional

À

Mme la directrice de la direction de l'eau et de la biodiversité

M le directeur général de la prévention des risques

Vous avez mis en place un groupe de travail concernant le sujet de la teneur des boues de stations d'épuration en PFAS.

Le SDAGE Loire-Bretagne prévoit des analyses de boues dans le cadre des campagnes RSDE. A ce jour, ce programme d'analyse est incomplet mais de premiers résultats commencent à être disponibles. Aussi, nous réfléchissons à des pistes de travail avec les DDT concernées, lorsque les teneurs constatées des boues ne rentrent dans aucun encadrement actuel. Ces travaux me conduisent à un certain nombre de propositions et questions que vous lirez ci-dessous.

Il me semble indispensable que la réglementation évolue rapidement pour prendre en compte ce sujet et prévoir, à la fois des analyses dans les boues d'un grand nombre de stations d'épuration et, pour les gammes de teneurs qui ne font l'objet d'aucun encadrement, un cadre pour la conduite à tenir, dans un contexte où les résultats sont critiqués par la filière de valorisation, à travers leur syndicat professionnel (SYPREA).

La finalisation des campagnes RSDE en cours

Les campagnes RSDE (recherche de substances dangereuses pour l'environnement) sont réalisées tous les 6 ans dans les eaux de rejets pour les STEU > 10 000 EH. Chaque campagne comporte (cadrage national) 6 analyses réparties sur l'année. La liste des substances à suivre dans l'eau est fixée au niveau national et peut être renforcée dans chaque bassin.

Dans le bassin Loire-Bretagne, la disposition 5B-3 du SDAGE prévoit par ailleurs un suivi dans les boues, financé par l'agence de l'eau Loire-Bretagne (AELB) et encadré par un guide technique élaboré par celle-ci préconisant un suivi avant et après traitement. 5 molécules sont concernées : PFOS, PFOA, PFDA, PFHxS, PFHA.



L'arrêté préfectoral d'autorisation de chaque station encadre ainsi les modalités de réalisation de la campagne : substances à suivre, matrice (eau + boues brutes) concernées et points de prélèvements.

L'AELB a informé les collectivités n'ayant pas encore finalisé leur dernière campagne RSDE (lancée normalement en 2022) qu'elles ne seraient plus financées. Ce point est en discussion avec l'agence de l'eau.

Je constate que peu de résultats apparaissent dans les bases de données sans qu'il soit possible de déterminer a priori si cela provient de la non réalisation des analyses ou d'un problème de bancarisation.

Je me propose donc, dans un premier temps, de mobiliser les DDT du bassin (via les DREAL) pour rappeler aux collectivités qui n'ont pas finalisé leur dernière campagne, les obligations qui leur incombent, dans la mesure où le SDAGE est d'application impérative et s'impose au travers de la décision d'autorisation des STEU. En l'absence persistante de réalisation effective de cette campagne, des actions de police administrative devront être envisagées.

Je vous alerte sur les difficultés rencontrées par les DDT et par la DREAL sur la bancarisation des données issues des campagnes de suivi dans la région Centre-Val de Loire. Les DDT de ma région font remonter des difficultés à la fois au moment du versement des données sur l'application Verseau (les collectivités n'arrivent pas toujours à le faire) et sur l'utilisation d'Autostep (méconnaissance de l'outil, difficultés à renseigner les informations complémentaires, impossibilité d'installer l'outil...) puis au moment du versement dans Roseau. Une simplification du processus faciliterait la bancarisation et in fine l'exploitation des données.

A ce stade, les résultats, encore à confirmer, montrent des teneurs variables en PFAS, qui incitent à examiner plus complètement la situation. Le bassin Loire-Bretagne a sans doute de l'avance, mais il me semble que la réglementation nationale devrait reprendre ces obligations pour les STEU > 10 000 EH afin de disposer d'un état des lieux complet de la situation.

La question de la fiabilité des analyses

Un certain nombre d'acteurs, notamment le SYPREA (syndicat des professionnels du recyclage par valorisation agricole) contestent la fiabilité des résultats, au motif qu'il n'y a pas de norme pour ces analyses.

Même si je partage le point de vue que tout résultat positif doit dans un premier temps être vérifié, il me semble que cet argument n'est pas recevable.

En effet, certaines méthodes sont éprouvées et stabilisées, donc a priori fiables, même sans certification ISO :

- Depuis 2013 AQAREF a publié une méthode d'analyse pour le PFOA et le PFOS dans les boues

- Des travaux sont en cours dans le cadre européen (groupe de travail CEN TC 444), devant aboutir d'ici la fin de l'année 2025 ou le début d'année 2026 à un projet de norme (EN 17892) pour une cinquantaine de PFAS. Certains bureaux d'études en ont déjà connaissance (notamment ceux ayant participé aux essais de validation menés par le BRGM).¹
- La même méthode sert de référence aux travaux de normalisation ISO, en cours également au niveau international ;
- Une méthode a été développée aux Etats-Unis (EPA 1633A) et peut également être utilisée ;

Pouvez-vous confirmer que, dans ce contexte, il n'y a aucune raison de mettre en cause par principe tout résultat sur des motifs d'absence de normalisation, dès lors que l'une de ces méthodes éprouvées a bien été correctement utilisée ?

De plus, pouvez-vous me confirmer que les travaux de normalisation en cours au niveau européen ou international ne viennent pas remettre en cause tout ou partie de la méthode qui sert de base aux travaux de normalisation ?

Actions lorsque les analyses révèlent des teneurs non négligeables ne rentrant dans aucun encadrement actuel.

Parmi les résultats obtenus à ce jour (encore à confirmer), certaines valeurs sont de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de µg/kg MS, assez importantes au regard de diverses références internationales. On pourra par exemple noter qu'un rapport provisoire de l'agence américaine de la protection de l'environnement mentionne un seuil de 1 µg/kg MS en PFOA ou PFOS comme pouvant conduire à des expositions dangereuses pour la santé humaine via les cultures issues des parcelles épandues.

Aucun seuil n'existe pour le moment en France concernant les teneurs maximales en PFAS dans les boues destinées à un épandage agricole pour cette gamme de résultat. Plusieurs pays ont toutefois défini des seuils pour autoriser l'épandage, généralement compris entre 10 et 400 µg/kg MS pour le PFOS, le PFOA, ou la somme de PFAS.

¹ Deux rapports issus d'agences françaises renvoient à un projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les boues.

Rapport BRGM RP-73936-FR. Version 0. Du 03/10/2024 « Note de synthèse sur le projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les matrices solides » <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/note-de-synthese-sur-projet-de-norme-pour-analyse-des-pfas-dans-matrices-solides>

Publication technique de l'Ineris du 29 avril 2025 « Composés per ou polyfluoroalkylés (PFAS) Méthode d'analyse multimatricielle » <https://www.ineris.fr/fr/composes-polyfluoroalkyles-pfas-methode-analyse-multimatricielle>

Différents seuils ont été retenus dans les pays de l'OCDE :

Pays	Définition du seuil	Valeur du seuil
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	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS	10 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS
Australie	PFOA	25 à 130 µg/kg MS (proposition)
	PFOS + PFHxS	6,2 à 31 µg/kg MS (proposition)
Wallonie	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA	40 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS

Les seuils adoptés en Wallonie (un premier seuil à 40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et un seuil à 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas) présentent l'avantage d'avoir été édictés pour préserver la santé et l'environnement en tenant compte notamment de l'avis de l'EFSA (autorité européenne des aliments) de 2020 sur les doses maximales de PFAS dans l'alimentation humaine.

Compte-tenu de l'importance sanitaire potentielle d'épandage de boues sur des sols agricoles, il me semble qu'il serait opportun d'encadrer une action administrative basée sur ces seuils (40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas), action qui aurait pour but essentiellement

² PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTs, PFOSA, 6 : 2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA et PFTrDA

- Des travaux sont en cours dans le cadre européen (groupe de travail CEN TC 444), devant aboutir d'ici la fin de l'année 2025 ou le début d'année 2026 à un projet de norme (EN 17892) pour une cinquantaine de PFAS. Certains bureaux d'études en ont déjà connaissance (notamment ceux ayant participé aux essais de validation menés par le BRGM).¹
- La même méthode sert de référence aux travaux de normalisation ISO, en cours également au niveau international ;
- Une méthode a été développée aux Etats-Unis (EPA 1633A) et peut également être utilisée ;

Pouvez-vous confirmer que, dans ce contexte, il n'y a aucune raison de mettre en cause par principe tout résultat sur des motifs d'absence de normalisation, dès lors que l'une de ces méthodes éprouvées a bien été correctement utilisée ?

De plus, pouvez-vous me confirmer que les travaux de normalisation en cours au niveau européen ou international ne viennent pas remettre en cause tout ou partie de la méthode qui sert de base aux travaux de normalisation ?

Actions lorsque les analyses révèlent des teneurs non négligeables ne rentrant dans aucun encadrement actuel.

Parmi les résultats obtenus à ce jour (encore à confirmer), certaines valeurs sont de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de µg/kg MS, assez importantes au regard de diverses références internationales. On pourra par exemple noter qu'un rapport provisoire de l'agence américaine de la protection de l'environnement mentionne un seuil de 1 µg/kg MS en PFOA ou PFOS comme pouvant conduire à des expositions dangereuses pour la santé humaine via les cultures issues des parcelles épandues.

Aucun seuil n'existe pour le moment en France concernant les teneurs maximales en PFAS dans les boues destinées à un épandage agricole pour cette gamme de résultat. Plusieurs pays ont toutefois défini des seuils pour autoriser l'épandage, généralement compris entre 10 et 400 µg/kg MS pour le PFOS, le PFOA, ou la somme de PFAS.

¹ Deux rapports issus d'agences françaises renvoient à un projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les boues.

Rapport BRGM RP-73936-FR. Version 0. Du 03/10/2024 « Note de synthèse sur le projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les matrices solides » <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/note-de-synthese-sur-projet-de-norme-pour-analyse-des-pfas-dans-matrices-solides>

Publication technique de l'Inéris du 29 avril 2025 « Composés per ou polyfluoroalkylés (PFAS) Méthode d'analyse multimatricielle » <https://www.ineris.fr/fr/composes-polyfluoroalkyles-pfas-methode-analyse-multimatricielle>

Différents seuils ont été retenus dans les pays de l'OCDE :

Pays	Définition du seuil	Valeur du seuil
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	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS	10 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS
Australie	PFOA	25 à 130 µg/kg MS (proposition)
	PFOS + PFHxS	6,2 à 31 µg/kg MS (proposition)
Wallonie	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA	40 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS

Les seuils adoptés en Wallonie (un premier seuil à 40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et un seuil à 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas) présentent l'avantage d'avoir été édictés pour préserver la santé et l'environnement en tenant compte notamment de l'avis de l'EFSA (autorité européenne des aliments) de 2020 sur les doses maximales de PFAS dans l'alimentation humaine.

Compte-tenu de l'importance sanitaire potentielle d'épandage de boues sur des sols agricoles, il me semble qu'il serait opportun d'enclencher une action administrative basée sur ces seuils (40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas), action qui aurait pour but essentiellement

² PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTriS, PFOSA, 6 :2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA et PFTriDA

- Des travaux sont en cours dans le cadre européen (groupe de travail CEN TC 444), devant aboutir d'ici la fin de l'année 2025 ou le début d'année 2026 à un projet de norme (EN 17892) pour une cinquantaine de PFAS. Certains bureaux d'études en ont déjà connaissance (notamment ceux ayant participé aux essais de validation menés par le BRGM).¹
- La même méthode sert de référence aux travaux de normalisation ISO, en cours également au niveau international ;
- Une méthode a été développée aux Etats-Unis (EPA 1633A) et peut également être utilisée ;

Pouvez-vous confirmer que, dans ce contexte, il n'y a aucune raison de mettre en cause par principe tout résultat sur des motifs d'absence de normalisation, dès lors que l'une de ces méthodes éprouvées a bien été correctement utilisée ?

De plus, pouvez-vous me confirmer que les travaux de normalisation en cours au niveau européen ou international ne viennent pas remettre en cause tout ou partie de la méthode qui sert de base aux travaux de normalisation ?

Actions lorsque les analyses révèlent des teneurs non négligeables ne rentrant dans aucun encadrement actuel.

Parmi les résultats obtenus à ce jour (encore à confirmer), certaines valeurs sont de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de µg/kg MS, assez importantes au regard de diverses références internationales. On pourra par exemple noter qu'un rapport provisoire de l'agence américaine de la protection de l'environnement mentionne un seuil de 1 µg/kg MS en PFOA ou PFOS comme pouvant conduire à des expositions dangereuses pour la santé humaine via les cultures issues des parcelles épandues.

Aucun seuil n'existe pour le moment en France concernant les teneurs maximales en PFAS dans les boves destinées à un épandage agricole pour cette gamme de résultat. Plusieurs pays ont toutefois défini des seuils pour autoriser l'épandage, généralement compris entre 10 et 400 µg/kg MS pour le PFOS, le PFOA, ou la somme de PFAS.

¹ Deux rapports issus d'agences françaises renvoient à un projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les boves.

Rapport BRGM RP-73936-FR. Version 0. Du 03/10/2024 « Note de synthèse sur le projet de norme pour l'analyse des PFAS dans les matrices solides » <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/rapport/note-de-synthese-sur-projet-de-norme-pour-analyse-des-pfas-dans-matrices-solides>

Publication technique de l'Inéris du 29 avril 2025 « Composés per ou polyfluoroalkylés (PFAS) Méthode d'analyse multimatricielle » <https://www.ineris.fr/fr/composes-polyfluoroalkyles-pfas-methode-analyse-multimatricielle>

Différents seuils ont été retenus dans les pays de l'OCDE :

Pays	Définition du seuil	Valeur du seuil
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	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS	10 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS
Australie	PFOA	25 à 130 µg/kg MS (proposition)
	PFOS + PFHxS	6,2 à 31 µg/kg MS (proposition)
Wallonie	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA	40 µg/kg MS
	Somme 22 PFAS ²	400 µg/kg MS

Les seuils adoptés en Wallonie (un premier seuil à 40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et un seuil à 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas) présentent l'avantage d'avoir été édictés pour préserver la santé et l'environnement en tenant compte notamment de l'avis de l'Efsa (autorité européenne des aliments) de 2020 sur les doses maximales de PFAS dans l'alimentation humaine.

Compte-tenu de l'importance sanitaire potentielle d'épandage de boves sur des sols agricoles, il me semble qu'il serait opportun d'enclencher une action administrative basée sur ces seuils (40 µg/kg MS pour une liste de 6 Pfas à seuil sanitaire renforcé - PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS, PFDA et PFHxA - et 400 µg/kg MS pour la somme des Pfas), action qui aurait pour but essentiellement

² PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTs, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA et PFTrDA

En cas de détection de PFAS, les seuils et l'action administrative que vous proposez pour confirmer les résultats et enclencher une recherche des causes de présence sont pertinentes en prenant comme assise les molécules et fréquences prévues par le SDAGE.

En matière de gestion des boues, l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) et le Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) ont été saisis par la DGPR et la DGAL le 31 juillet dernier par les ministères en charge de l'écologie et de l'agriculture concernant la contamination par les PFAS des matières fertilisantes. Il leur a été demandé d'établir un point de situation sur les pratiques de gestion mises en œuvre dans les pays disposant d'une réglementation dans ce domaine, notamment en ce qui concerne les modalités de détermination des valeurs de référence utilisées dans le cadre de cette gestion.

Par ailleurs, le Haut conseil de la santé publique (HCSP) a également été saisi par la DGPR et la DGS le 25 juillet 2025 en vue de disposer de valeurs guides pour la gestion des fertilisants (boues notamment) contaminés par des PFAS. Ces valeurs devront être compatibles avec la limite de qualité européenne pour l'EDCH et les limites en eaux brutes ainsi qu'avec les valeurs indicatives produites par la Commission européenne concernant les teneurs en PFAS dans les productions végétales destinées à l'alimentation et dans les denrées alimentaires d'origine animale. Les résultats de ces travaux sont attendus pour le premier semestre 2026.

Dans l'attente de ces expertises, si des mesures de concentration en PFAS dans des boues issues de stations d'épuration montrent un dépassement des seuils fixés par la réglementation sur les polluants organiques persistants (POP) ces boues ne peuvent pas être épandues ou valorisées. La DGPR recommande de les traiter par incinération, en particulier en installation d'incinération de déchets dangereux.

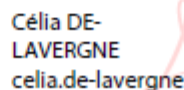
Cédric BOURILLET



Signature numérique de
Cédric BOURILLET
cedric.bourillet
Date : 2025.12.24
10:36:10 +01'00'

Directeur général de la prévention
des risques

Célia de LAVERGNE



Célia DE-
LAVERGNE
celia.de-lavergne

Signature numérique
de Célia DE-LAVERGNE
celia.de-lavergne
Date : 2025.12.26
10:57:39 +01'00'

Directrice de l'eau et de la
biodiversité

La dernière demande de la DREAL est la validation d'un courrier type des services en charge de la police des eaux vers les collectivités. Il démontre la nécessité d'un soutien et renforce le besoin d'une circulaire au préfet afin chaque directeur départemental puisse facilement prendre l'attache des maitres d'ouvrage et que collectivement on puisse avoir une base de données exhaustive et représentative.

Madame/Monsieur- l(a)e-Maire/Président(e),¶

Comme-le-prévoit-le-schéma-d'aménagement-et-de-gestion-des-eaux-du-bassin-Loire-Bretagne-pour-les-stations-de-plus-de-10-000-équivalents-habitants-,vous-avez-fait-analyser-les-boues-de-la-station-d'épuration-de-XXX-dans-le-cadre-de-la-dernière-campagne-RSDE-(recherche-de-substances-dangereuses-pour-l'environnement)-.Le-SDAGE-prévoit-en-effet-cette-campagne-ainsi-qu'une-recherche-des-causes-en-cas-de-contamination.¶

Vous-avez-transmis-les-rapports-d'analyses-au-service-en-charge-de-la-police-de-l'eau-et-avez-assuré-la-bancarisation-des-données(ou-et-vos-services-doivent-encore-assurer-la-bancarisation-des-données);-je-vous-en-remercie.¶

Ces-analyses-ont-montré-des-concentrations-élevées-PFAS-élevées¶

→ Lister-les-molécules-concernées-et-les-valeurs-obtenues¶

Face-à-des-valeurs-aussi-élevées,-un-biais-lié-au-laboratoire-est-possible,-mais-quoi-qu'il-en-soit,-ces-données-interpellent-et-alertent.¶

Aussi,-il-convient-de-vérifier-ces-éléments-en-réalisant-de-nouvelles-analyses-dans-des-conditions-qui-apportent-une-meilleure-fiabilité-des-résultats-et-permettent-d'apporter-de-premiers-éléments-susceptibles-d'orienter-une-recherche-des-causes-expliquant-ces-valeurs.¶

Ces-nouvelles-analyses-sur-les-boues-devront-être-réalisées-conformément-au-projet-de-norme-ISO/DIS-25652-(joint-au-présent-courrier).¶

Elles-seront-effectuées-à-minima-en-sortie-de-filière-boue(point-S6)-afin-de-caractériser-les-boues-avant-leur-élimination.-Je-rappelle-que-si-les-teneurs-de-ces-boues-dépassaient-les-seuils-du-règlement-POP,-elles-devraient-être-éliminées-dans-des-filières-adaptées-aux-déchets-dangereux.¶

Ces-analyses-pourront-utilement-être-complétées-par-des-analyses-en-entrée-de-filière-boue-(point-S4/A6),-afin-d'apporter-des-éléments-de-compréhension-plus-complets,-une-partie-des-PFAS-étant-susceptible-de-migrer-dans-la-phase-aqueuse-lors-du-processus-traitement-de-ces-boues.¶

Cette-analyse-portera-sur-les-22-PFAS-mentionnés-à-l'arrêté-du-3-septembre-2025-(<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000052201216>),-ainsi-que-l'acide-trifluoroacétique-(TFA).-L'analyse-sera-menée-post-oxydation-«TOP-assay».¶

Vous-veillerez-à-ce-que-les-limites-de-quantification-garanties-par-le-laboratoire-soient-suffisamment-basses-pour-permettre-une-bonne-interprétation-des-résultats-(de-l'ordre-de-1µg/kg-de-matières-sèche).¶

Afin-de-contrôler-la-cohérence-de-ces-mesures-et-de-faciliter-leur-analyse,-une-recherche-de-la-charge-totale-en-fluor-organique-est-recommandée,-de-même-qu'une-recherche-du-COT-(carbone-organique-total).¶

Cette-campagne-devra-comporter-à-minima-deux-analyses-des-lots-produits,-à-deux-dates-différentes,-idéalement-à-un-trimestre-d'écart.-Rien-ne-s'oppose-bien-entendu-à-une-fréquence-plus-élevée-dans-le-cadre-de-votre-propre-suivi-de-la-qualité-des-boues.¶

Afin-d'initier-une-recherche-des-causes-qui-pourrait-s'avérer-nécessaire-et-urgente-en-cas-de-confirmer-teneurs-élevées,-je-suggère-que-vous-recensiez-dès-à-présent-.¶

- > les-installations-industrielles-raccordées,¶
- > les-boues-provenant-d'autres-stations-d'épuration-et-faisant-l'objet-d'un-«deuxième»-traitement-au-sein-de-votre-station,¶
- > l'apport-de-lixiviats-d'installation-de-stockage-de-déchets-non-dangereux¶
- > l'influence-de-certains-produits-utilisés-dans-des-conditions-exceptionnelles-ou-dans-certaines-activités-(ex: mousse-d'incendie).¶

¶

Le-12^e-programme-d'intervention-de-l'agence-de-l'eau-Loire-Bretagne-prévoit-de-financer-les-campagnes-de-recherche-des-substances-dangereuses-dans-l'eau-et-les-boues-à-hauteur-de-50%-selon-les-modalités-décrites-dans-la-fiche: <https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/home/aides/fiches-dispositif-12e-programme/ass1-campagne-de-recherche-de-micropolluants-et-diagnostic-amont.html>.-Des-aides-sont-aussi-prévues-pour-réaliser-un-diagnostic-amont-permettant-de-rechercher-les-sources-d'émission-des-micropolluants-et-des-PFAS-puis-lancer-un-plan-d'actions-pour-réduire-ces-émissions.¶

Le-coût-des-analyses-complémentaires-sur-les-boues-pourrait-être-intégré-aux-dépenses-retenues-par-l'agence-pour-une-aide-relative-à-la-réalisation-de-diagnostic-amont-ou-à-la-mise-en-place-d'un-plan-d'actions-pour-réduire-les-rejets.¶

¶

Vous-voudrez-bien-tenir-informé(e)-[service-de-police-de-l'eau]-dans-un-dé-lai-de-4-semaines-des-démarches-que-vous-engagez-suite-à-la-réception-de-ce-courrier.¶

Annexe 11 : Incinération basse température – société Véolia Brevet n°23 02257

Dans la recherche de solution d'élimination des PFAS, la société VEOLIA ouest Europe, qui a déposé le brevet n°23 02257, a testé un système qui permet une élimination des PFAS à une température inférieure à 1000°C. Cette solution innovante permet d'utiliser les fours traditionnels en les adaptant, moyennant un investissement d'environ 200 000 euros TTC. Les résultats obtenus leur permettent :

- de ne pas avoir d'acide fluoridrique dans les fumées ;
- de concentrer les PFAS restants dans les résidus qui seront à stocker en classe 1.

Cette solution est déjà en service dans une quinzaine de lignes en Europe.

Le MTE a réalisé en 2025 une campagne d'analyse des émissions de PFAS dans les rejets gazeux sur une quinzaine de lignes d'incinération en France.

Les résultats obtenus sont soit inférieurs à 30 µg/m³, soit proches de la limite de détection.

Le procédé testé est en service depuis 2024 en France.

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication : **3 146 418**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **23 02257**

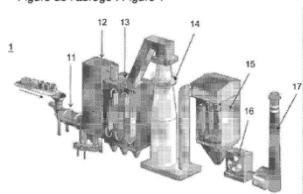
51 Int C⁸ : **B 09 B 3/40** (2023.01), B 09 B 101/90, A 62 D 3/34,
101/22

12	DEMANDE DE BREVET D'INVENTION	A1
22 Date de dépôt : 10.03.23. 30 Priorité :	71 Demandeur(s) : SARP INDUSTRIES Société anonyme — FR.	
43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.09.24 Bulletin 24/37.	72 Inventeur(s) : CHAUCHERIE Xavier, CORBIN Alexis, GILARDIN Bruno et GOSSET Thierry.	
56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule	73 Titulaire(s) : SARP INDUSTRIES Société anonyme.	
64 Références à d'autres documents nationaux apparentés :	74 Mandataire(s) : Plasseraud IP.	
Demander(s) d'extension :		

54 PROCEDE D'ELIMINATION D'UNE PFAS COMPRISE DANS UN DECHET.

57 La présente invention porte sur un procédé industriel permettant d'éliminer efficacement une substance PFAS, en particulier les PFAS POP, comprise dans un déchet tout en permettant de contrôler efficacement les émissions de HF induites par cette élimination.
Figure de l'abrégé : Figure 1

FR 3 146 418 - A1



Annexe 12 : Fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration (FGRE)

Source DGPE

Objet : préciser le périmètre du fonds (FGRE), son fonctionnement, ses modalités l'indemnisation et les pistes pour l'avenir pour l'indemnisation de ces sols agricoles pollués.

Contexte

Le fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration (FGRE) urbaines ou industrielles, créé par la loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques ([L.425-1 code des assurances](#)), est chargé d'indemniser les préjudices subis par les exploitants agricoles et les propriétaires des terres agricoles et forestières dans les cas où ces terres, ayant reçu des épandages de boues d'épuration urbaines ou industrielles, deviendraient totalement ou partiellement impropres à la culture en raison de la réalisation d'un risque sanitaire ou de la survenance d'un dommage écologique lié à l'épandage, dès lors que, du fait de l'état des connaissances scientifiques et techniques, ce risque ou ce dommage ne pouvait être connu au moment de l'épandage. Ce fonds est codifié dans le code des assurances aux articles [L.425-1](#) et [R.424-1 à R.424-1](#).

Les ressources du FGRE ont été constituées par une taxe annuelle due par les producteurs de boues. Elle avait été calculée sur la quantité de matière sèche de boues produites par les producteurs. Le montant de cette taxe a été fixé à 0,5 euros par tonne de boues. Fin 2024, le fonds s'établit à 3731185,11 €. Il n'a, depuis sa création, jamais été mobilisé, ce qui a conduit le ministère de l'économie et des finances à supprimer depuis 2017, par la loi de finance du 29 décembre 2016, la taxe qui l'abonde.

Le Ministère en charge de l'agriculture avait exprimé à l'époque son désaccord sur la suppression de la taxe finançant le fonds de garantie.

La gestion comptable et financière du fonds de garantie est assurée par la Caisse centrale de réassurance. Bien que ce fonds ne soit plus alimenté et inutilisable, ces ressources sont destinées actuellement à couvrir les frais exposés par la Caisse centrale de réassurance pour la gestion du fonds de garantie. Pour cela, un solde débiteur est prélevé chaque année.

Le périmètre indemnisable

Tout risque sanitaire ou dommage écologique lié à un épandage de boues d'épuration urbaines ou industrielles dès lors que, du fait de l'état des connaissances scientifiques et techniques, ce risque ou ce dommage ne pouvait être connu au moment de l'épandage. *« dans la mesure où ce risque ou ce dommage n'est pas assurable par les contrats d'assurance de responsabilité civile du maître d'ouvrage des systèmes de traitement collectif des eaux usées domestiques ou, le cas échéant, de son ou ses délégataires, de l'entreprise de vidange, ou du maître d'ouvrage des systèmes de traitement des eaux usées industrielles, ci-après désignés par l'expression : "producteurs de boues", ou par les contrats d'assurance relatifs à la production et à l'élimination des boues ».*

Instruction des demandes d'indemnisation : (R424-11 à R424-17)

Les exploitations agricoles et les propriétaires de terres agricoles et forestières transmettent les demandes d'indemnisation de dommages causés par l'épandage agricole des boues d'épuration

au préfet qui transmet le dossier au ministre en charge de l'environnement en vue de la saisine de la commission nationale d'expertise¹²⁰.

Cette dernière est présidée par le ministre chargé de l'environnement ou son représentant qui assume également la fonction de secrétariat général. Elle est en charge d'émettre un avis sur l'éligibilité des demandes à une indemnisation par le fonds de garantie. La commission peut être en outre consultée par le ministre chargé de l'environnement sur les projets de textes réglementaires relatifs aux boues d'épuration.

Les membres de la commission nationale d'expertise (liste fixée dans l'Arrêté du 7 janvier 2011 portant nomination à la commission d'expertise relative à l'indemnisation des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines ou industrielles¹²¹) sont nommés pour une durée de cinq ans renouvelables par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

L'indemnisation des dommages sanitaires et environnementaux liés aux épandages de boues urbaines et industrielles est à la responsabilité Ministère de l'environnement qui publie deux arrêtés pour :

- installer la commission nationale d'expertise (le MASA fait partie des 17 représentants ou personnalités désignés pour faire partie de la Commission)¹²² ;
- diffuser le dossier de demande d'indemnisation des agriculteurs et propriétaires.

¹²⁰ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006073984/LEGISCTA000020637735

¹²¹ <https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Bulletinofficiel-0024805&reqId=2d942d07-c019-4c1a-99d4-2fab3f441e85&pos=9>

¹²² https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000045628882

Annexe 13 : Impact de siccité des boues sur leur teneur en PFAS

La logique de contrôle des teneurs en PFAS des boues valorisées en épandage agricoles impose un prélèvement au point S6 pour les STEU qui ont une filière d'épaississement des boues. Ainsi, l'information sur la siccité de la boue¹²³ analysée est importante afin de pouvoir analyser si une relation existe entre le processus de traitement de la boue et les valeurs mesurées, mais nécessite aussi une mesure de la boue en S4. Dans la pratique, les campagnes de mesure des teneurs en PFAS des boues réalisées dans le cadre du RSDE (cf. annexe n°8) en Loire Bretagne ont principalement porté sur des échantillons prélevés en A6 ou S4, à la sortie de la filière Eau¹²⁴. Il s'agit alors de boues liquides (5% de taux de matière sèche).

Le processus de traitement des boues brutes liquides (S4) en boues traitées (S6) compte plusieurs étapes : un apport d'additifs (ex. chaux), une déshydratation (par pressage ou centrifugation) dont le lixiviat liquide est redirigé dans le réseau en entrée de station. De ce fait, les mesures de teneur en PFAS des boues en A6 (boue brute liquide) et en S6 (boue traitée) diffèrent par deux aspects : (i) une partie des composés PFAS présents dans les boues liquides en A6 (lixiviats de la déshydratation) reste dans la phase aqueuse et retourne en amont de la station ; (ii) la matière sèche ne représente pas la même proportion de l'échantillon.

Selon le niveau de déshydratation de l'échantillon de boue (taux d'humidité entre 33% et 95%), la valeur de concentration en PFAS peut être multipliée par 10 à 20, ramenée à une unité en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS.

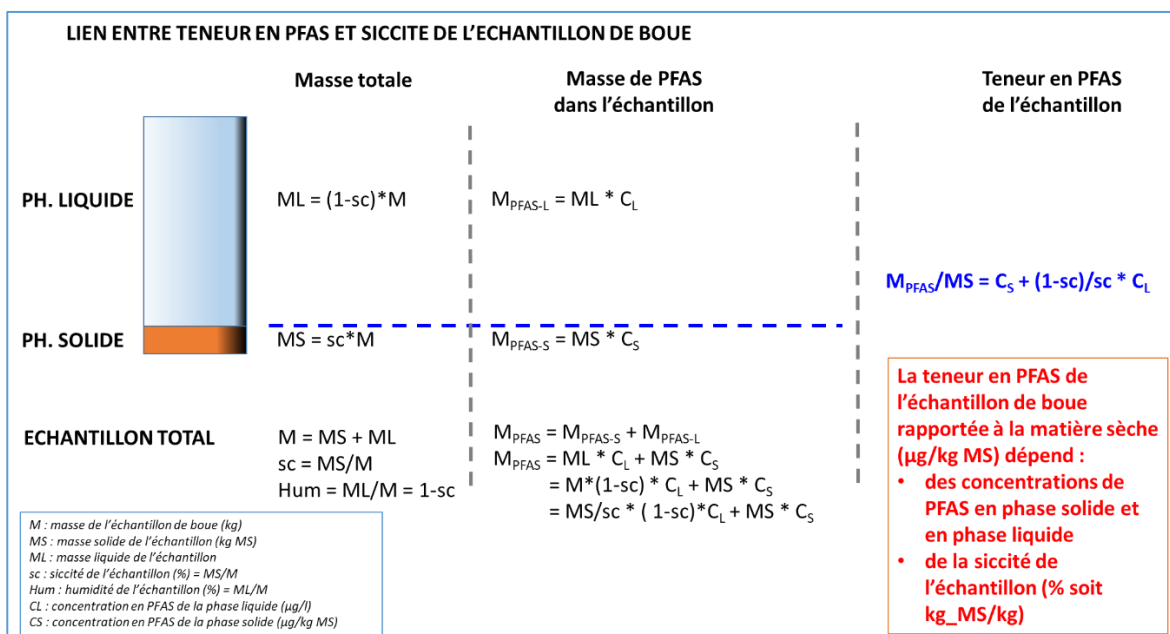


Figure n°7 : lien entre teneur en PFAS et siccité de l'échantillon

¹²³ Poids la matière sèche sur poids de la boue, ou pourcentage massique de matière sèche.

¹²⁴ Dans le cadre du RSDE il était demandé soit de faire une mesure unique au point A6 soit une mesure au point S6 avec une mesure complémentaire sur les additifs utilisés. La plupart des maîtres d'ouvrage ont privilégié la mesure unique en A6.

EVOLUTION DE LA TENEUR EN PFAS ET DE LA SICCITE DE L'ECHANTILLON DE BOUE AU COURS DE LA DESHYDRATATION

En sortie de la Filière « Eau », les boues sont encore liquides avec une siccité de ~5%.

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée.

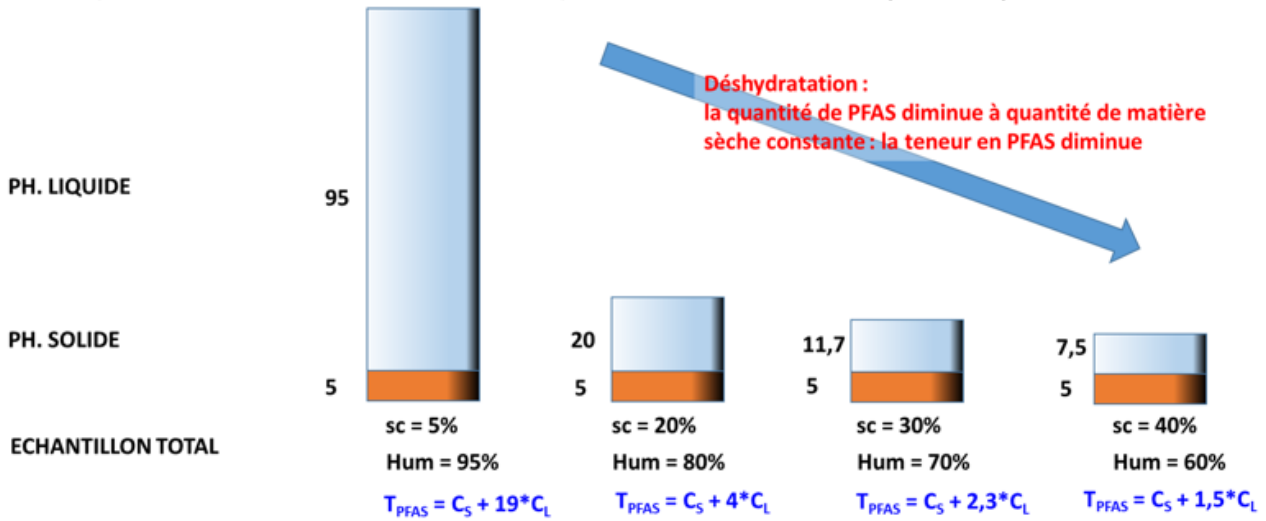


Figure n°8 : évolution de la teneur en PFAS et de la siccité au cours de la déshydratation

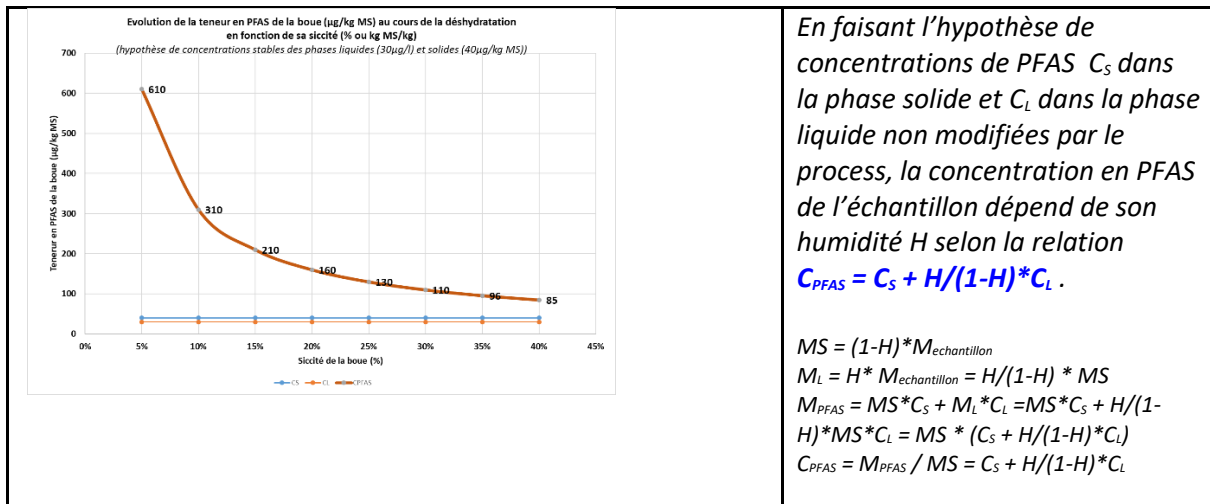


Figure n°9 : Variation de la valeur de concentration en PFAS de la boue en fonction de son niveau de déshydratation (taux d'humidité)

Ainsi, pour des humidités respectivement de 95% (boue liquide), 50% (boue pâteuse) et 33% (boue déshydratée), la concentration C_{PFAS} vaut respectivement $(C_S + 19 * C_L)$, $(C_S + C_L)$ et $(C_S + C_L/2)$, soit potentiellement un facteur de 10 à 20 entre les humidités de 95% et de 33%.

Annexe 14 : Épaississement des boues en station d'épuration

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. Toutefois, en résumant les situations les plus fréquemment rencontrées en France, les principaux types de boues proposées au recyclage en agriculture sont les suivants :

- - boues liquides (2 à 5% de siccité) issues de traitements aérobies de l'eau, qui correspondent en général à de petites stations (moins de 3 000 EH) qui opèrent au plus un épaississement puis un stockage des boues non traitées ;
- - boues pâteuses (15 à 25% de siccité) issues de traitements aérobies ou anaérobies, qui correspondent à des stations de taille moyenne (de 5 000 à 20 000 EH) qui opèrent en général une déshydratation sur filtre à bande presseuse ou en centrifugeuse ;
- - boues chaulées (25 à 30% de siccité) pâteuses ou solides, qui correspondent à des stations (environ 200 en France) de taille moyenne ou grande (de 20 000 à 100 000 EH) qui opèrent un traitement chimique à la chaux sur une boue déshydratée ;
- - boues physico-chimiques (très souvent il s'agit aussi de boues chaulées) qui sont rarement mises en agriculture ;
- - boues compostées qui correspondent à des stations de taille moyenne en général (environ 70 stations en France) qui opèrent un traitement par compostage sur une boue déshydratée ;
- - boues de lits de séchage qui sont issues de petites stations ;
- - boues de lagunage (catégorie particulière de boues liquides, le traitement de ces boues se fait de façon extensive, selon un mode anaérobie, au fond des bassins, qui ne sont curés au mieux qu'une fois tous les 10 ans) ;
- - boues séchées, qui sont présentes en France dans quelques grandes stations malgré le coût élevé de leur production, ;
- - boues solides (plus de 30% de siccité) faiblement chaulées résultent d'un traitement par filtre-pressé ou d'un conditionnement thermique et concernent des stations de grande taille (plus de 100 000 EH) (INERIS, 2007).

Le graphique suivant permet d'illustrer en fonction de l'origine de la boue au sein d'une STEU les différentes solutions pour les épaissir. Ce rappel technique est nécessaire car les solutions de traitement des boues en excédent de teneur en PFAS ne seront pas les mêmes.

Source www.techniques-ingenieur.fr janvier 2026

Les différentes techniques sont récapitulées dans les deux graphiques suivants :

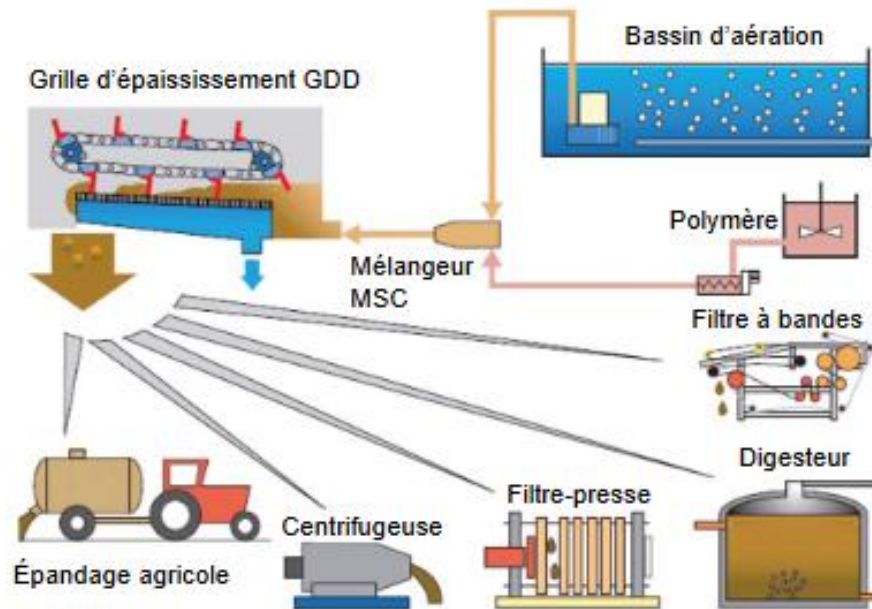
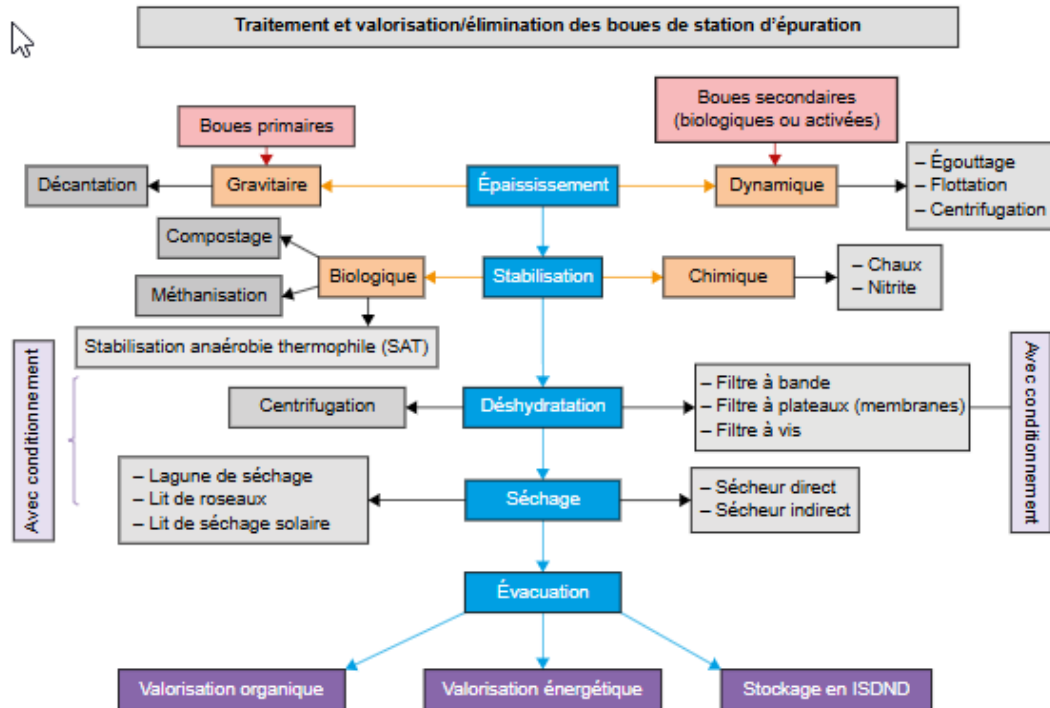


Figure n° 10 : les techniques d'épauississement

La consistance d'une boue est soit liquide (siccité inférieure à 15%), soit pâteuse (entre 20 à 60 %), soit solide (supérieure à 60 %).

En fonction de la technique utilisée, la teneur en eau varie fortement et le tableau ci-dessous récapitule les ordres de grandeurs :

Type de stockage et de traitement	Siccité %	Commentaire
Stockage statique en sortie de décanteur	5	Petite station d'épuration
Silo décanteur	10	Petites stations d'épuration
Filtre presse à bande	25	
Filtre presse à plateau	30	Existe en version mobile
Filtre presse à membrane	35	
Filtre presse à vis	20	
Pressoir rotatif	35	
Centrifugeuse	35	
Déshydratation thermique	40 à 90	Très grandes stations d'épuration

Le filtre à plateau existe aussi en version mobile afin de pouvoir se déplacer dans différents sites de production, ce qui peut être utile pour le cas où les boues sont polluées.

Les boues doivent être épandues avec un **matériel adapté selon leur siccité**. Ainsi, les boues liquides sont épandues avec des tonnes à lisier (palette, pendillard ou enfouisseur). Les boues pâteuses et solides sont épandues avant des **épandeurs à hérissons verticaux ou horizontaux avec ou sans table d'épandage**. Ainsi, tout changement de siccité aura un impact sur la filière d'épandage car le matériel sera à modifier.

Pour être incinérée, il est nécessaire :

- pour un lit fluidifié, d'avoir une siccité proche de 40 % ;
- pour un incinérateur de déchets ménagers, d'avoir une siccité proche de 65 %.

Enfin, lors de nos échanges avec les gestionnaires privés de filière d'assainissement, il est apparu que, pour un maître d'ouvrage ayant plusieurs unités de traitement comprenant une station d'épuration de grande taille (supérieur à 10 000 EH) et d'autres de taille plus limitée (inférieur à 5000 EH), les boues liquides des petites unités sont transportées vers la grande unité afin d'être épaissies sur un seul site. Cette situation permet de rentabiliser l'investissement d'épaississement malgré le coût de transport initial. Par contre, ce procédé concentre les PFAS extraits lors de l'épaississement à un endroit particulier ce qui est une donnée à suivre.

Une centrifugeuse fonctionne sans avoir recours à de hautes pressions. La boue est injectée dans un canal circulaire situé à la périphérie d'une roue rotative. Une force centrifuge agit sur les boues ce qui favorise la séparation entre le liquide et le solide. Le taux de siccité est de 35%.

Le séchage partiel a pour but d'augmenter la sécheresse des boues jusqu'à atteindre une valeur acceptable permettant leur combustion dans un incinérateur à lits fluidifiés. Cette valeur doit être entre 35 à 45% de siccité.

Pour l'introduction dans un incinérateur à déchets ménagers un taux de 65% est recommandé car proche de l'humidité des déchets ménagers.

Le séchage poussé vise à avoir une siccité entre 60 à 90%.

Annexe 15 : Les différentes boues – origines - destinations

Les sources d'informations sont nombreuses pour tenter d'aborder la production de MAFOR et surtout celles qui ont dans leur process ou dans leur composition des boues.

L'exploitation du PKGC 2011 par de nombreuses études est la seule source qui permet de visualiser la répartition géographique permet de constater de fortes disparités régionales. Cette information sera importante dans les zones où la part des boues impactées par les PFAS est très importante et qui ne serait pas une zone d'élevage.

De fortes disparités régionales

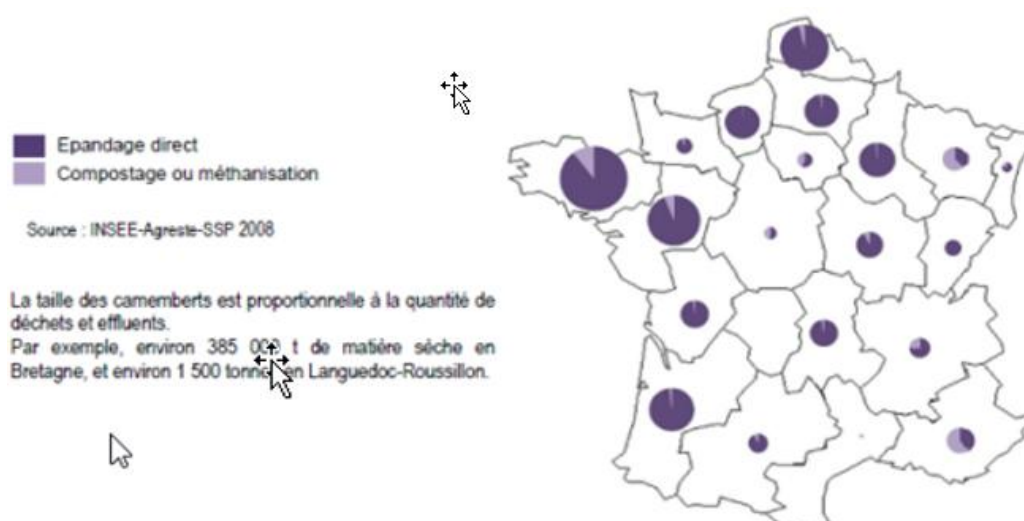


Figure n°11 : répartition géographique des quantités de déchets et d'effluents industriels destinés à la valorisation agricole en 2008 (source Esco MAFOR 2014)

Cette annexe regroupe la majeure partie des données collectées de différentes sources et va montrer la difficulté d'obtenir des données précises et localisées. Les tableaux ci-dessous synthétisent les principaux chiffres collectés et l'on constate leur légère divergence.

Dans l'analyse des conséquences de la mise en place d'une norme, il est utile d'avoir la localisation de la STEU avec des PFAS en excès :

- pour la filière épandage : de regarder sur son bassin versant si l'épandage de fertilisant organique est important et s'il existe des gisements potentiels à proximité ;
- pour la filière élimination : de regarder la localisation des fours et leur usage ;
- pour la filière gestion : de connaître le positionnement des autres STEU, de savoir si leur moyen de déshydratation est très utilisé, de connaître les possibilités ou non de mélange et ou de méthanisation.

Les unités de référence sont différentes (matière sèche ou matière brute, matière dangereuse ou non dangereuse voir non spécifiée, précision différente car des objectifs d'analyse à des territoires différents 'nationaux ou locaux). On constate que les missions de ces dernières années utilisent les premières informations souvent issues de leur ministère d'origine :

	T MS
Boues d'effluents industriels non dangereuses (hors traitement de déchet, industrie papetière, industrie alimentaire)	60 300
Boues non dangereuses provenant du traitement de déchets	16 500
Boues issues de l'industrie papetière	63 100
Boues issues des industries alimentaires	133 500
Total boues ICPE	273 400

Tableau n°8 : tonnage de boues ICPE

MAFOR	Mt	% épandage
Production annuelle totale de MAFOR en France	729 (Mt MB)	
Effluent élevage	109 (Mt MB)	94 %
Boues de STEP, compost, digestat de méthanisation	1.5 Mt MS dont 1008 pour les STEP	73 % source ICARE 85 % source BDERU
Déchets industriels organiques	0,245 Mt MS	35 %
Déchets ménagers (source ADEME 2015)	13	14 %
Superficies épandues	SAU (millions ha)	% épandage
SAU en France	29 Dont 0,8 pour des boues brutes ou composté	23 % 3 %

Tableau n°9 : production de MAFOR en France source ICARE

L'ESCo MAFOR 2014 prend comme hypothèse que les 109 Mt MB (matière brute y compris celles au champ) le volume d'effluents d'élevage produits et collectés annuellement en France, équivalent à 31 Mt MS (matière sèche), estimation reprise par un rapport CGEDD/CGAAER de 2015 sans que le détail de calcul y figure.

Déchets et sous-produits épandus	Production annuelle (Mt MS)	Part relative (%)	Commentaires
Effluents d'élevage	31	77,5	
Déchets ménagers et assimilés et autres déchets organiques urbains et industriels	3	7,5	
Boues urbaines	1	2,5	
Boues industrielles	4	10	
Autres (cendres, résidus de curages, biochars, refioms)	1	2,5	
Total	40	100	

Tableau n°10: déchets et sous produits : source CGEDD/CGAAER 2015

Déchets et sous-produits épandus	Production annuelle (Mt MB)	Composté	Méthanisé
Effluents d'élevage	122,6	12,6	1
Déchets ménagers et assimilés et autres déchets organiques urbains et industriels	9,16	4,89	0,66
Boues urbaines	4,24	1,32	
Boues industrielles	19,6	0,55	0,19

Tableau n°11 : Synthèse des données MAFOR

Tonnages annuels de boues produits et épandues par les ICPE

La mission retient les estimations de 0,25 Mt MS/an de production de boues d'ICPE non dangereuses et 0,15 Mt MS/an d'épandage et compostage de boues d'ICPE non dangereuses.

Diversité des boues et tonnages annuels

La gestion des déchets est encadrée principalement par le code de l'environnement, notamment les articles L541-1 et suivants. Ils définissent ce qu'est un déchet, les responsabilités des producteurs, les règles de collecte, transport, traitement et traçabilité, les sanctions en cas de non-respect.

Les boues sont juridiquement considérées comme des déchets¹²⁵ et doivent à ce titre respecter ces règles. Elles sont réparties en quatre familles (cf. définitions en annexe) :

- les boues ordinaires, non dangereuses (incluant les boues de STEU) ;
- les boues d'effluents industriels non dangereuses ou dangereuses (incluant les boues d'ICPE) ;
- les boues et déchets liquides provenant du traitement des déchets non dangereux ou dangereux ;
- les boues de dragage non dangereuses ou dangereuses.

La traçabilité des boues implique que l'ensemble des opérations relatives à leur gestion (production, expédition, réception ou traitement) soient enregistrées dans des registres de suivi des déchets (REP)¹²⁶ tenus à disposition du service d'inspection des installations classées.

Le tableau 12, issu de sources hétérogènes (BDREP, BNPE, enquêtes), présente l'estimation 2022 du tonnage annuel de chaque type de boues, déclaré en poids sec (tonnes matière sèche (t MS)). Le tonnage des boues de STEU est de 1 Mt MS, celui des boues d'ICPE non dangereuses de 0,25 Mt MS.

Tonnage de boues ICPE : L'estimation ci-dessus d'un tonnage annuel de 0,25 Mt MS de boues d'ICPE a été confrontée aux données nationales du Service des données et études statistiques (Sdes)¹²⁷ (tableau n°12). Elles conduisent à une estimation des tonnages annuels de 2,74 millions de tonnes.

¹²⁵ sauf si elles sont valorisées dans certaines conditions

¹²⁶ https://www.enviroveille.com/public/fiches_pratiques/fiches-pratiques.html?cat_id=1&dossier_id=128836&fiche_id=109775

¹²⁷ communiquées à la mission par le Bureau de la gestion des déchets de la DGPR (DGPR/SSEEC/SDEC/BGD)

boues d'effluents industriels non dangereuses (hors traitement de déchet, industrie papetière, industrie alimentaire)	603 000 t
boues non dangereuses provenant du traitement de déchets	165 000 t
boues issues de l'industrie papetière	631 000 t
boues issues des industries alimentaires	1 335 000 t
Total boues ICPE	2 734 000 t

Tableau n°12 : tonnage de boues de STEU source Sdes

L'écart entre les deux estimations (0,25 million t par compilation de BDREP, BNPE et enquêtes ; 2,74 millions t MS par les données du SDES) n'a pu être formellement élucidé dans le cadre de la mission. La mission fait l'hypothèse que les données du SDES sont exprimées en tonnage brut (siccité 10 %).

	année	Poids total (t Mtot)	Poids sec (t MS)	siccité (%)		Poids sec (t MS)	siccité (%)	source
Boues d'effluents industriels non dangereuses ou dangereuses	2 022	2 256 026	412 607	18	dangereuses	166 957	27%	(1)
					non dangereuses	245 650	15%	(2)
Boues et déchets liquides provenant du traitement des déchets	2 022	2 629 241	709 895	27	dangereuses	245 875	27%	(1)
					non dangereuses	464 020	27%	(1)
Boues ordinaires, non dangereuses	2 022	6 285 503	1 405 444	22	Activité agriculture	7 435	50%	(1)
					Activités industrielles	239 804	50%	(2)
					Captage, distribution d'eau	1 158 205	20%	(3)
					<i>boues STEU</i>	1 008 205	20%	(3)
					<i>boues d'epotabilisation</i>	150 000	20%	(3)
Boues de dragage non dangereuses ou dangereuses	2 022	6 512 084	3 256 042	50	dangereuses	198 045	50%	(4)
					non dangereuses	3 057 997	50%	(4)
					<i>dragage curage non pollués</i>	1 546 154	50%	(4)
					<i>rechargements d'eplages, dépôts de terre</i>	1 511 843	50%	(5)
Total		17 682 854	5 783 988					
Sources								
<i>(1) BDREP</i>								
<i>(2) enquête INSEE déchets industriels non dangereux</i>								
<i>(3) BNPE</i>								
<i>(4) enquête "déchets de déblais du BTP"</i>								
<i>(5) enquête "dragage" du Cerema</i>								

Tableau n°13 : Poids total et poids sec des différentes boues produites

La mission retient un tonnage de production de boues d'ICPE non dangereuses de 0,25 Mt MS/an.

Traitement des boues

Selon les données de la Base de données des eaux résiduaires urbaines (BDERU128), 85% des boues de STEU (861 000 t MS) subissent un recyclage matière ou organique (épandage, compostage).

Selon les données de la Base de données du registre des émissions polluantes (BDREP129), 40 % des boues industrielles non dangereuses (98 000 t MS) subissent un recyclage matière ou organique (épandage, compostage). Les données nationales du service des données et études statistiques (Sdes) indiquent quant à elles un taux de recyclage matière ou organique (épandage, compostage)

¹²⁸ Base de données des eaux résiduaires urbaines (<https://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/pages/data/basededonnee.php#>)

¹²⁹ Base de données du registre des émissions polluantes (<https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/directive-emissions-industrielles-ied-bref-mtd/donnees-registre>)

bien plus élevé de 78%, soit un tonnage de 2,13 Mt (ou 213 000 t MS).

La mission retient un tonnage d'épandage et compostage des boues d'ICPE de 0,1 à 0,2 Mt MS/an.

Production annuelle de boues des ICPE et destination (estimations)	Boues d'effluents industriels non dangereuses (hors traitement de déchet, industrie papetière, industrie alimentaire)	Boues non dangereuses provenant du traitement de déchets	Boues issues de l'industrie papetière	Boues issues des industries alimentaires	Total (Kt/an)		Total (Kt/an)		
Source d'information (compilation MTE/DGPR/Bureau des déchets)	SDES	SDES	fédération Copace1 (déclarations Gerep)	SSP du MAASA (données INSEE)					
Année de référence	2022	2022	2024	2022	2022-2024		2022-2024		
recyclage ou récupération de substances organiques (compostage, méthanisation,...)	156	88	286	1 296	972	2 128	78%	1 502	55%
épandage	21	27	254		324			626	23%
incinération sans valorisation énergétique	201	3	80	10	10	294	11%	294	11%
valorisation énergétique des boues	156	23		29	29	208	8%	208	8%
mise en décharge des boues	69	24	11		-	104	4%	104	4%
Total	603	165	631	1 335	1 335	2 734	100%	2 734	100%
	22%	6%	23%	49%	49%	100%			
Hypothèse de 75% recyclage 25% épandage pour les boues des industries alimentaires en "recyclage-épandage"									

Tableau n°14 : production de boues des ICPE

Les boues d'effluents industriels non dangereuses ou dangereuses. Il s'agit des :

- boues et résidus solides provenant du traitement des eaux usées industrielles, y compris le traitement externe/physique ;
- déchets solides et liquides provenant de la décontamination des sols et des eaux souterraines ;
- boues provenant du nettoyage des chaudières ;
- déchets provenant de la préparation des eaux de refroidissement et des colonnes de refroidissement;
- boues de forage.

Le traitement des eaux usées a lieu dans de nombreux secteurs de l'industrie manufacturière. Les boues d'effluents industriels sont dangereuses quand elles contiennent des hydrocarbures et des métaux lourds.

Les boues et déchets liquides provenant du traitement des déchets

Ces déchets comprennent différents types de boues et de déchets liquides provenant d'installations de traitement des déchets. Ils comprennent les déchets provenant du traitement physico-chimique des déchets dangereux, les liquides et boues provenant du traitement anaérobie des déchets, les lixiviats de décharges et les boues de traitement des effluents provenant de la régénération des huiles. Les boues et déchets liquides provenant du traitement des déchets sont dangereux ou non dangereux.

Les boues ordinaires, non dangereuses

Il s'agit de boues d'épuration des eaux usées municipales et de boues organiques provenant de la préparation et de la transformation des produits alimentaires. Elles proviennent principalement des ménages et de branches industrielles rejetant des eaux usées organiques (principalement pâte et papier, ainsi que préparation et transformation de produits alimentaires). Elles peuvent aussi être présentes dans les stations d'épuration des eaux usées ou dans le traitement anaérobie des déchets. Toutes les boues ordinaires sont non dangereuses.

Les boues de dragage non dangereuses ou dangereuses

Il s'agit de déchets qui proviennent principalement de la construction et de la maintenance de projets hydrologiques, du dragage et de travaux sous la surface de l'eau. Ils sont dangereux quand ils contiennent des métaux lourds ou des polluants organiques.

Annexe 16 : Analyse d'impact de l'application du socle commun pour le cadmium

1.1.1 Un impact quasi nul des teneurs autorisées pour les boues

Les entretiens et les retours de la consultation publique font apparaître que « *La conformité des MIATE¹³⁰ aux teneurs de la catégories B2 ne semble pas poser de difficultés* ».

En complément, la mission a procédé à une analyse rapide des données disponibles issues à la fois de la BD SILLAGE (boues épandues en France sauf dans la région Grand-Est) et de la BD utilisée pour la région Grand-Est. Les données recueillies représentent 426 stations d'épuration, environ 182 000 tonnes de MS de boues et 1 307 données d'analyse de la teneur en cadmium. Les résultats traduisent une teneur moyenne en cadmium de 0,83 mg/kg MS et le tableau suivant précise la ventilation en classes de teneurs.

	T > 10 mg	T entre 10 et 5 mg	T entre 5 et 2 mg	T < 2 mg
Nombre analyses	0	2	48	1257
Nbre de station	0	1	17	408

Source : bases de données SILLAGE et Grand-Est. Traitement mission.

Si l'on considère les résultats de cet échantillon (qui représente 38 % des boues épandues), cela signifie que :

- tous les épandages de boues seraient conformes avec le taux de 10 mg prévu à la date d'entrée en vigueur du socle commun ;
- une station (sur 426 ayant renseigné les teneurs en cadmium) ne serait plus en mesure d'épandre les boues produites avec une teneur maximale de 5 mg/kg de MS.

Ces ordres de grandeur, confirmés par les principaux opérateurs rencontrés, montrent que les teneurs maximales (en mg Cd/kg MS) prévues ne constituent pas une contrainte pour l'épandage des boues issues des stations d'épuration.

1.1.2 Un impact significatif des flux

L'estimation de l'impact des flux de cadmium autorisés sur l'épandage des boues est plus délicate à réaliser. En effet, elle nécessiterait à la fois de :

- évaluer le caractère restrictif des flux, ce qui implique de disposer des données qualitatives et quantitatives des boues épandues par parcelle, et ce pour une période minimale de trois ans ;
- évaluer les possibilités de valorisation des boues « écartées » du fait de dépassement des flux, ce qui impliquerait de caractériser les possibilités locales d'augmentation des surfaces d'épandage autour des stations d'épuration concernées ;
- appréhender l'éventuelle évolution des pratiques des agriculteurs confrontés à une diminution des apports possibles et l'acceptabilité de l'épandage des boues par de nouveaux agriculteurs ;
- évaluer les possibilités et les coûts de traitement des boues écartées du fait des flux et en absence d'autres possibilités de valorisation¹³¹.

¹³⁰[1] Matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux.

¹³¹[2] Les professionnels rencontrés citent des coûts d'incinération de 200-240 € par tonne (avec TGAP), avec 150 €/t de plus pour la déshydratation dans le cas de boues liquides. En comparaison la valorisation de ces matières coûte 30-50 €/t MB compostée ou

La mission n'a pas été en mesure de réaliser une évaluation aussi précise qui nécessiterait une complétude des données pluriannuelles à la parcelle et la réalisation d'études localisées (SAU disponible, évolution potentielle des pratiques, acceptabilité de l'épandage de boues, etc.).

Néanmoins, plusieurs sources d'informations peuvent permettre d'appréhender l'impact des flux :

1) **Une analyse réalisée lors de l'élaboration du socle commun** mentionne que les tonnages de boues épandues impactés par le texte socle commun (en considérant la version 2023 avec un flux ponctuel de cuivre multiplié par trois) seraient les suivants :

- Tonnage MS concerné par la limitation des flux : 172 000 t de MS (soit 37,5 % des boues).
- Tonnage MS qui ne pourrait plus être épandu sans surface supplémentaire : 31 000 t de MS (soit 6,5 % des boues).
- Surface épandable (ha) supplémentaire nécessaire pour épandre les tonnages impactés : 3 800 ha.

Bien évidemment, les flux de cadmium n'étant pas les seuls flux considérés dans le socle commun, certains tonnages sont impactés du fait d'autres ETM.

2) **Une enquête réalisée par AMORCE auprès de ses adhérents** montre que le pourcentage de tonnage de boues non-conformes entre l'apport moyen annuel comparé au flux de référence annuel serait inférieur à 2 % pour le premier seuil d'évolution des flux, mais qu'il pourrait dépasser 40 % pour le seuil ultime à savoir 2 g/ha. Ces chiffres doivent être considérés uniquement comme des ordres de grandeur, car l'échantillon ne peut prétendre à une réelle représentativité des boues d'épuration françaises.

3) **Les estimations formulées par les différents opérateurs**, à savoir que les flux maximums de cadmium autorisés constitueraient une contrainte pour environ 15 % des boues aujourd'hui épandues. Cela signifie, non pas que ces boues ne pourront plus être épandues, mais qu'elles devront l'être sur des surfaces plus importantes.

4) **Une analyse sommaire réalisée par la mission** à partir des données concernant une partie des boues d'épuration urbaine épandue dans la région Grand-Est, qui converge également vers les mêmes ordres de grandeur.

Ces différentes sources d'informations permettent d'appréhender les ordres de grandeur des tonnages de boues concernées par la mise en œuvre de nouveaux flux maximum pour le cadmium. À ce stade, et même s'il faut rester prudent du fait de l'imprécision des données et calculs, la mission considère qu'avec un flux :

- annuel de référence équivalent à 5 g/ha, le tonnage des boues concernées reste mesuré (estimation : 7,5 % \pm 5 % des tonnes de MS) ;
- annuel de référence équivalent à 2 g/ha, le tonnage des boues concernées pourrait devenir significatif et remettre en question ce mode de valorisation des boues, au moins dans certains territoires (estimation : 35 % \pm 10 % des tonnes de MS).

Annexe 17 : Frise temporelle : prise en compte depuis les années 2000 de la problématique PFAS dans les EDCH et les boues

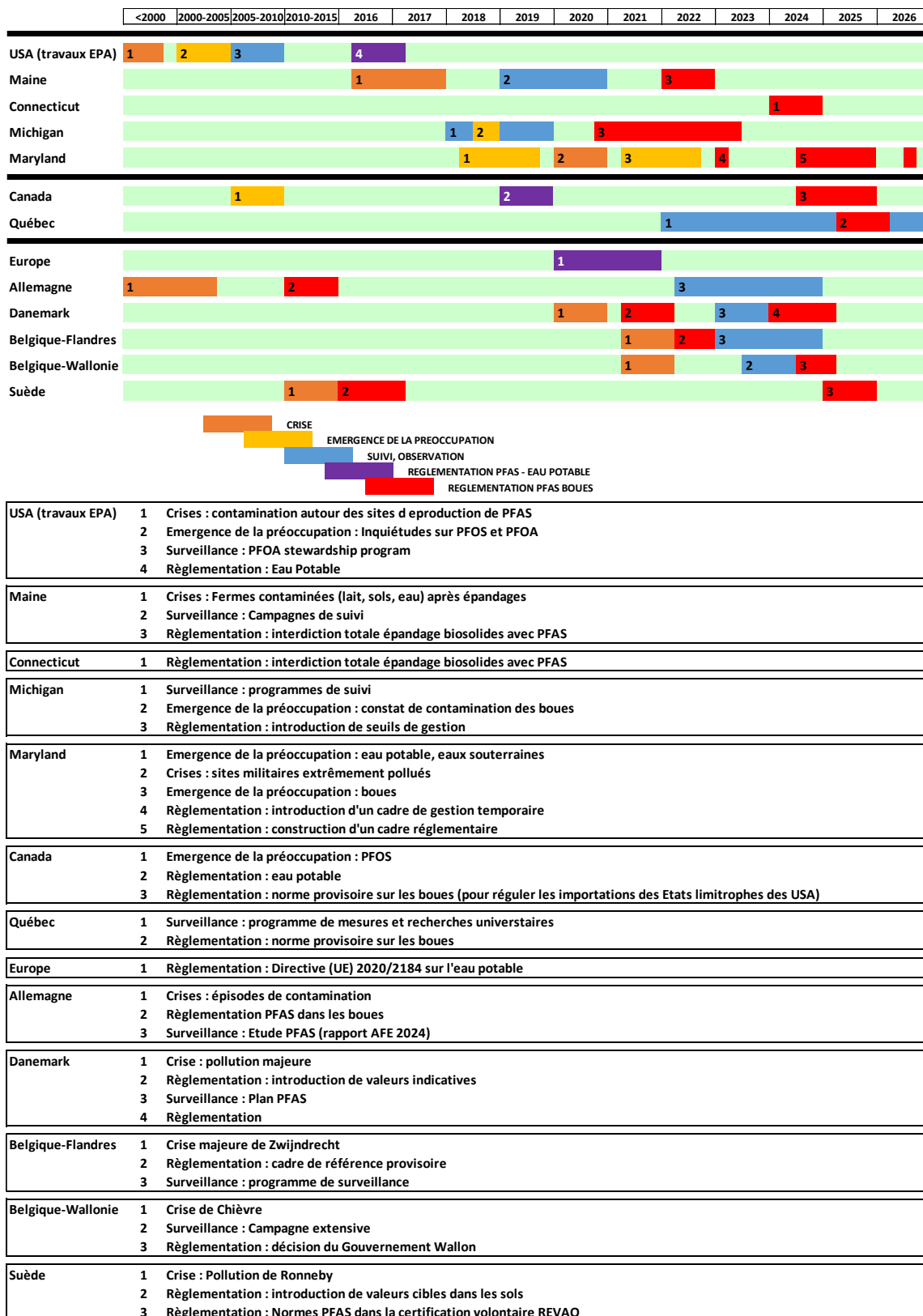


Figure n°12 : Frise temporelle détaillée de la mise en œuvre de cadres de gestion des PFAS dans les boues, dans les pays objets du parangonnage (détaille la figure 7 du corps du rapport)

Annexe 18 : Méthodes d'analyse des échantillons (préparation, extraction, mesure) et risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions

L'ensemble des acteurs contactés par la mission exprime le besoin d'un cadre normatif fixant des méthodes robustes et performantes d'analyse des PFAS dans les échantillons de boue¹³², permettant d'harmoniser les pratiques, d'intercomparer et interpréter les résultats.

Des pratiques d'analyse hétérogènes en l'absence de cadre normatif

A ce jour, il n'existe pas de norme validée en Europe ou en France pour l'analyse des PFAS dans les MFSC, ni de laboratoires accrédités en France.

De ce fait, les laboratoires utilisent des méthodes internes et de nombreux paramètres de ces méthodes, indispensables à l'évaluation d'ensemble de la performance analytique, s'avèrent très hétérogènes d'un laboratoire à l'autre : modalités d'extraction, limites de quantification, incertitude de mesure analytique, etc. Des écarts manifestes existent notamment dans l'analyse des boues liquides et solides, avec des incertitudes de mesure plus élevées pour les boues liquides.

En l'absence de méthode normalisée, des laboratoires pourraient en théorie être accrédités sur la base d'une méthode interne. Toutefois, l'accréditation par le COFRAC est subordonnée à la réalisation d'essais inter-laboratoires (EIL), peu organisés jusqu'à présent. Le BIPEA, une association internationale de laboratoires reconnue pour l'organisation d'EIL, propose depuis septembre 2025 un circuit d'EIL pour la recherche d'une vingtaine de PFAS dans les boues¹³³.

Les méthodes d'extraction

Préalablement à l'analyse proprement dite, les PFAS sont généralement extraits de la matrice solide de l'échantillon selon des méthodes adaptées à cette matrice. Les méthodes d'extraction peuvent varier selon les laboratoires et les pays :

- extraction par un solvant pour les matrices solides (méthode la plus fréquente) ;
- dilution de l'aliquote¹³⁴ avec de l'eau exempte de PFAS (méthode moins fréquente), mais qui conduit à récupérer majoritairement les PFAS hydrophiles ; la norme 1633¹³⁵ validée par l'EPA en décembre 2024 autorise cette pratique de dilution selon certaines conditions, et est par ailleurs déployée sur les territoires des Etats-Unis et du Canada par des laboratoires accrédités.

Les modalités d'extraction et de préparation de l'échantillon influencent significativement les résultats. Par exemple, la méthode de dilution d'une matrice solide dans l'eau implique d'utiliser une technique d'analyse développée pour les phases aqueuses, avec souvent des limites de quantification plus basses.

¹³² L'analyse des mesures de teneur en PFAS des boues de stations d'épuration réalisées dans le cadre du RSDE 2022 sur le bassin Loire Bretagne (cf. 2.2.2) montre des écarts statistiques parfois très significatifs entre laboratoires d'analyse (facteur supérieur à 10 entre les médianes) ce qui fragilise l'interprétation qui peut être faite de ces données.

¹³³ https://extranet.bipea.org/app_pub/_common/fic_circuit.aspx?code_circuit=38b&code_langue=FR

¹³⁴ petite fraction de l'échantillon qui sera analysée, représentative de l'échantillon entier

¹³⁵ EPA, United States Environmental Protection Agency : Method 1633, Revision A : Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS

Les méthodes d'analyse

Plusieurs approches analytiques ont été développées : méthodes ciblées, méthodes non ciblées, méthodes globales (ANSES, 2025) :

- les analyses quantitatives ciblées concernent des composés PFAS préalablement identifiés, pour lesquels des standards analytiques sont disponibles. Ces analyses font le plus souvent appel à une chromatographie en phase liquide (LC) couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS/MS). La chromatographie en phase gazeuse (GC) peut s'appliquer à un nombre plus restreint de PFAS, dont des PFAS plus volatiles ;
- les analyses non-ciblées permettent la détection et quantification des substances présentes dans les échantillons, sans qu'elles soient connues a priori individuellement ou que l'on dispose de standards spécifiques. Elles nécessitent des instruments bénéficiant d'une résolution et d'une précision en masse élevées (dont la spectrométrie de masse à haute résolution (HRMS) en mode balayage complet) (ANSES, 2025) ;
- enfin, des méthodes d'analyses globales ou semi-globales sont déployées ou en cours de déploiement dans d'autres matrices que les MFSC (eaux, sols), et permettent d'acquérir des informations plus globales sans pouvoir identifier et quantifier précisément les composés PFAS individuellement.

Nous citons ci-dessous, sans recherche d'exhaustivité, certaines approches indiciaires globales, donc non-ciblées, reposant sur la quantification de l'élément fluor, par exemple :

- la résonance magnétique nucléaire (RMN) du fluor, pour le moment d'avantage développée pour les matrices « sols » et « eaux » : elle permet de mesurer le fluor total soluble, les PFAS totaux, voire certaines familles de PFAS de configuration chimique particulière en s'appuyant sur des signatures spectrales. Cette méthode n'a pas vocation à détecter des concentrations faibles car elle est peu sensible (limites de quantification élevées dans l'eau et le sol), mais offre une vision d'ensemble de la pollution fluorée avec un accès à des informations d'ordre structural grâce à l'interprétation de spectres obtenus ;
- la méthode indiciaire par absorption du fluor organique (AOF/ Adsorbable Organic Fluorine) mentionnée dans les arrêtés du 20 juin 2023 et du 3 septembre 2025¹³⁶. Ces arrêtés prescrivent tous deux des campagnes de surveillance dans certains rejets aqueux, incluant une mesure de la quantité totale de fluor par cette méthode. Elle présente toutefois l'inconvénient d'être peu sensible, avec une limite de quantification de l'ordre de 2µg/l, et n'est pas conçue pour les matrices solides ni pour la recherche de composés volatiles. Un autre biais résulte de la possibilité d'interférences avec le fluor inorganique « non PFAS » qui peuvent conduire à des surestimations potentiellement fortes de la teneur en PFAS.

Des études¹³⁷ soulignent que, dans le cadre de l'évaluation de la contamination environnementale par les PFAS, l'AOF ou encore l'EOF (mesurant le fluor organique extractible, méthode plus adaptée

¹³⁶ Arrêté du 20 juin 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation et arrêté du 3 septembre 2025 relatif à l'analyse de substances per- et polyfluoroalkylées dans les eaux en entrée et sortie de stations de traitement des eaux usées urbaines.

¹³⁷ La plupart des méthodes et approches existantes ont été testées sur des échantillons d'eaux usées, de boues ou de sous-produits dans le cadre du projet européen PROMISCES (Preventing Recalcitrant Organic Mobile Industrial chemicalS for Circular Economy in the Soil-sediment-water system), qui s'est déroulé de 2021 à 2025. Ce projet a contribué au développement des méthodes analytiques et confirme l'intérêt de compléter les analyses ciblées par des approches plus globales afin de mieux apprécier la contamination.

aux sols et aux boues) ne sont pas entièrement efficaces en tant qu'indicateurs pour évaluer la « quantité totale de PFAS », car ils peuvent intégrer des fluors non PFAS et donc fortement surestimer la teneur effective en PFAS. Cependant, ces méthodes s'avèrent utiles pour mieux comprendre les sources de fluor dans l'environnement.

Les méthodes globales ne peuvent pas, à elles seules, fonder la prise de décision face à une pollution supposée ou avérée par les PFAS mais apportent des informations complémentaires utiles sur la contamination fluorée des milieux, et méritent donc de compléter les approches ciblées « classiques » plus sensibles.

Un projet de norme internationale en cours

Une norme ISO (ISO/DIS 25652) est en voie de finalisation au moment de la rédaction du présent rapport. Sa publication est attendue pour mi-2026 (ou de façon plus réaliste fin 2026).

Elle permettra de répondre aux enjeux d'harmonisation des méthodes analytiques pour :

- la matrice boues ainsi que pour les matrices sols et sédiments ;
- les substances listées dans son domaine d'application e (une cinquantaine de PFAS).

Le BRGM a publié une note de synthèse sur ce projet de norme en octobre 2024¹³⁸.

La publication de cette norme internationale facilitera l'organisation d'essais inter-laboratoires et *in fine* les demandes d'accréditation des laboratoires. Son contenu est connu et peut d'ores et déjà être utilisé par les laboratoires qui le souhaitent.

Risques de contamination accidentelle des échantillons et précautions

La plupart des références bibliographiques consultées insistent sur la nécessité de porter une attention particulière au risque de contaminations accidentelles des échantillons, depuis leur prélèvement jusqu'à leur analyse au laboratoire, risque lié au caractère ubiquiste des PFAS.

Par exemple, le projet PFASOL (cf. 2.2.3) préconise, dans le cadre de prélèvements de la matrice solide « sols », d'utiliser des matériels en inox plein sans revêtement, des gants en nitrile non poudrés, ainsi que des flacons en polyéthylène haute densité sans étanchéification en téflon, et d'éviter autant que possible le port de produits corporels contenant des PFAS.

Des positions plus nuancées (INERIS/BRGM) considèrent cependant que l'impact de la contamination accidentelle d'un échantillon est moindre lorsqu'il s'agit de matrices présentant des teneurs en PFAS assez élevées (mesurées en µg/kg de MS pour les boues, et non en ng/L). De leur avis, compte tenu des valeurs parfois importantes constatées, la seule éventuelle contamination lors du prélèvement ne peut justifier ces valeurs. Ce point a été confirmé par la DEB et la DGPR dans son courrier (cf. annexe n°10) au DREAL de Bassin Loire Bretagne.

La remise en cause systématique de mesures fournissant des valeurs élevées par l'argument d'une contamination accidentelle hypothétique lors du prélèvement n'apparaît pas légitime.

¹³⁸ https://ssp-infoterre.brgm.fr/sites/default/files/documents/2024-10/BRGM-RP-73936-FR_note-PFAS.pdf

Annexe 19 : La production de MAFOR en France : origines et volumes

Une expertise scientifique collective (INRAE, CNRS) sur la valorisation agricole des matières fertilisantes d'origine résiduaire a été publiée en 2014¹³⁹ (Etude ESCO MAFOR). Les données relatives aux gisements de matières résiduares, à la part valorisable en agriculture et aux pratiques d'épandage sont très difficiles à rassembler pour toutes les MAFOR objets de cette expertise et à analyser. En effet, elles sont collectées de différentes manières, ne sont pas centralisées, sont incomplètement informatisées, sont exprimées dans différentes unités de mesures (matière brute versus matière sèche). Enfin, certains gisements ne sont renseignés au niveau national que par des enquêtes réalisées il y a plus de 20 ans, qui n'ont pas été actualisées. Des données plus récentes existent, mais ne sont disponibles que pour certaines régions ou ne se basent pas sur la même typologie des matières, rendant délicate l'articulation entre les données et l'estimation de l'évolution des gisements au cours du temps.

Il convient de souligner que les déjections directement émises au champ par les animaux, non récupérables (estimées à environ 50 % de la totalité des effluents d'élevage), ne sont pas considérées comme des MAFOR, car elles ne sont pas "épandues" au sens strict (c'est-à-dire par l'Homme). Ces apports "non maîtrisés" de déjections constituent néanmoins un élément contextuel à prendre en compte dans toute réflexion globale portant sur les modalités d'utilisation et d'encadrement réglementaire des MAFOR : au même titre que les déjections récupérables, elles sont susceptibles d'apporter des éléments fertilisants et de la matière organique, mais également d'être vectrices de contaminations.

Par ailleurs, faute de données fiables, les quantités importées et exportées sont exclues de l'analyse alors qu'elles semblent constituer des volumes significatifs¹⁴⁰.

Pour ces différentes raisons, il n'a pas été possible de fournir, dans le cadre de cette mission, une image globale précise des flux de MAFOR actuellement épandues en France.

De l'ensemble des informations rassemblées par l'ESCO MAFOR 2014, plusieurs points peuvent être mis en exergue :

- les effluents d'élevage produits en France représentent un volume annuel de 109 Mt MB (matière brute) équivalent à 31 Mt MS (matière sèche)¹⁴¹, répartis pour moitié entre émissions au champ (déjections directes) et pour moitié effluents collectés ;
- les effluents d'élevage collectés représentent ~78 % des MAFOR épandues et constituent le principal gisement non impacté par une source soit industrielle soit urbaine. Ils proviennent à 73 % de l'élevage bovin (source AGRESTe). Ce segment est depuis quelques années en décapitalisation, ce qui induit une diminution des quantités produites, les valeurs présentées constituant un maximum disponible ;
- la quantité de boues produites par les STEU urbaines est estimée à 976 000 tonnes MS en 1998 (IFEN, 1998) et à 1 180 000 tonnes MS en 2008 (MEEDDAT, 2009), soit une augmentation

139 « Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier : impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques » (<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/MAFOR-synthese-vf-oct2014.pdf>)

140 Selon l'étude ESCO MAFOR (2014), qui s'appuie sur une enquête de l'UNIFA de 2013, 0,7 Mt de MS (volailles et porcs) étaient importés annuellement depuis les Pays Bas et la Belgique. Les DRAAF interrogées (Grand Est, Auvergne Rhône Alpes et Pays de la Loire) n'ont aucune traçabilité de ces importations.

141 Cette estimation est reprise dans un rapport CGEDD/CGAAER de 2015 sur les épandages de matières fertilisantes d'origine résiduaire, sans que le détail de calcul y figure (https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/cgaaer_14074_2015_rapport.pdf)

d'environ 21 % en 10 ans. Les prévisions établies par la Commission européenne pour la France à l'horizon 2020 (Milieu Ltd et al., 2010) s'élevaient à 1 600 000 t MS / an¹⁴². La production globale de boue entrant dans un processus d'épandage était estimée à 1.6 Mt MS (2014), devant progresser à 2 Mt MS ;

- la production et la valorisation des déchets organiques (y compris les boues et effluents industriels) ne sont pas réparties de manière homogène sur le territoire (production au nord et à l'ouest, besoin important à l'est et au sud, notamment en zones céréalières). Cette répartition inégale constitue un frein à l'utilisation de ces matières. En effet, la concentration de l'élevage dans certaines régions françaises, dont les effluents sont peu transportables, est synonyme de concentration du gisement de ce type de MAFOR. De même, les villes constituent des gisements localisés de MAFOR, principalement utilisables par l'agriculture périurbaine ;
- ces concentrations de populations humaine (zone urbaine) et animale (régions d'élevage) mobilisent des aliments qui ne sont pas produits sur place : ainsi, un épandage localisé des MAFOR produites par ces populations ne permet pas de restituer l'azote mobilisé dans les régions productrices de ces aliments, et ainsi de boucler le cycle de l'azote ;
- l'Etat ne dispose pas de la connaissance des flux de MAFOR à l'import et à l'export. La mise en œuvre de normes va conduire à supprimer des gisements donc va probablement, par un effet rebond, renchérir la matière importée qui va se transporter sur de plus grandes distances.

Ces données sont globalement cohérentes avec celles collectées dans l'annexe 16.

¹⁴² Référence février 2012 - Panorama des projets de recherche et perspectives sur la problématique des micropolluants dans les boues de stations de traitement des eaux usées urbaines

Annexe 20 : Extrait étude SYNTEAU sur l'impact de la DERU2 article 11

1. Articles 11.2 et 11.3

↳

2. Les États membres veillent à ce que, au niveau national, l'énergie annuelle totale générée à partir de sources renouvelables, au sens de l'article 2, paragraphe 1, de la directive (UE) 2018/2001, sur site ou hors site, par les propriétaires ou exploitants ou pour le compte des propriétaires ou exploitants des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines traitant une charge égale ou supérieure à 10 000 EH, indépendamment du fait que cette énergie soit utilisée sur site ou hors site par les propriétaires ou exploitants de ces stations, soit au moins équivalente à:

- a) 20 % de l'énergie annuelle totale utilisée par ces stations au 31 décembre 2030;
- b) 40 % de l'énergie annuelle totale utilisée par ces stations au 31 décembre 2035;
- c) 70 % de l'énergie annuelle totale utilisée par ces stations au 31 décembre 2040;
- d) 100 % de l'énergie annuelle totale utilisée par ces stations au 31 décembre 2045.

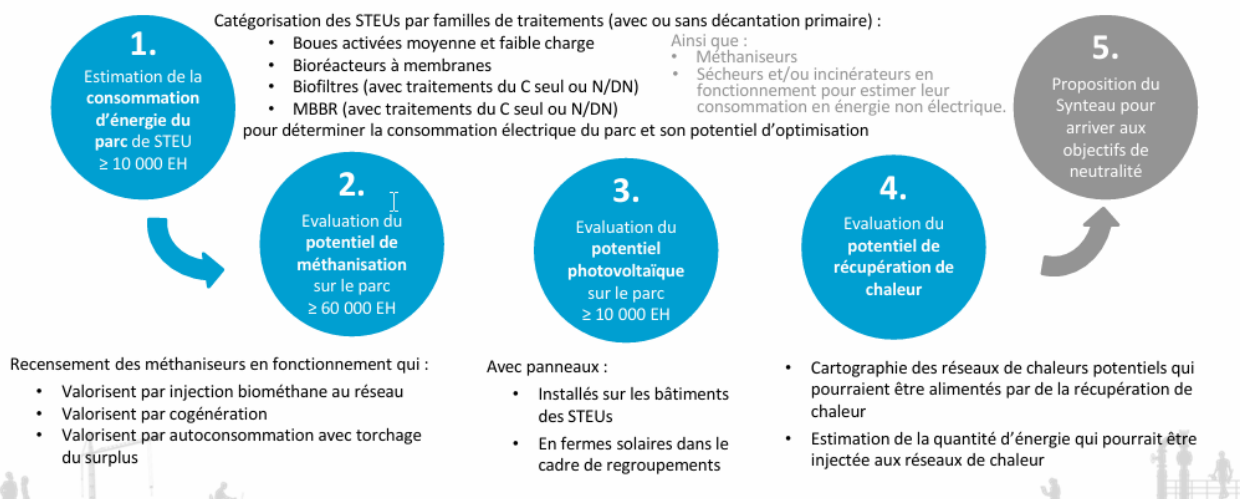
En cohérence avec le GT traitement, Nous avons considéré la CBPO pour la charge supérieure ou égale à 10 000 EH

L'énergie renouvelable produite par les propriétaires ou exploitants de la station d'épuration des eaux résiduaires urbaines ou pour leur compte ne comprend pas l'énergie renouvelable achetée.

3. Par dérogation au paragraphe 2, si un État membre n'atteint pas l'objectif visé au paragraphe 2, point d), bien qu'il ait mis en œuvre toutes les mesures d'efficacité énergétique et toutes les mesures nécessaires pour renforcer la production d'énergie renouvelable, notamment celles recensées dans les audits énergétiques visés au paragraphe 1, il peut, à titre exceptionnel, autoriser l'achat d'énergie produite à partir de sources non fossiles. Ces achats sont limités à un maximum de 35 % d'énergie non fossile par rapport à l'objectif visé au paragraphe 2, point d).

Un des objectifs de l'étude Synteau est de voir dans quelle mesure les exigences de l'article 11.2 peuvent être atteints en termes d'échéances et d'évaluer l'impact financier que cela pourrait présenter.

2. Méthodologie générale de l'étude Synteau pour l'article 11:



5. Potentiel de la méthanisation :

5.2 Scénarii envisagés permettant de booster la production d'énergie des STEUs

- Mutualisation / regroupements** : aller chercher dans les STEU voisines (<50 km) les boues pour combler les vides de digesteurs et booster la production de biogaz
Nota : ces boues additionnelles vont générer des retours plus riches en Azote que nous envisageons de traiter avec des traitements spécifiques pour éviter de surcharger la file eau.
- Equiper toutes les **STEUs de plus de 60 000 EH** d'une méthanisation avec de l'injection ou de la cogénération quand l'injection n'est pas possible (pas de réseau de gaz à proximité).
- Etudier la faisabilité pour les STEUs inférieures à 60 000 EH d'une méthanisation avec cogénération (Ex.: Folschwiller : 15 000 EH)
- Equiper les STEU qui n'en disposent pas de **décanteurs primaires** (quand c'est possible d'un point de vue foncier) qui permet, entre autres, de booster la production de biogaz et de réduire les consommations d'énergie dans le biologique
- Comblent les vides de digesteurs résiduels avec des **biodéchets** (références déjà existantes avec arrêté préfectoral l'autorisant. Exemple : Samoëns, Villiers Saint Frédéric)
- Passer les stations qui aujourd'hui cogèrent leur biométhane en injection (pour celles qui le peuvent)

Nous estimons qu'environ la moitié du biométhane qui est aujourd'hui cogénération pourrait être injecté. Le gain en neutralité énergétique serait de +2,5 points si la chaleur est actuellement réutilisée*.

Le Synteau a considéré 10% d'amélioration sur la consommation en utilisant de l'IA pour réguler les supprimeurs d'aération et en équipant les STEU de machines plus neutres énergétiquement dans le cadre de leurs renouvellements. Ces gains sont en grande partie compensés par les exigences plus poussées en azote requises.

* Si la chaleur n'est aujourd'hui pas réutilisée, le gain pourrait aller jusqu'à +7%

5. Potentiel de la méthanisation :

5.3 Méthanisation : Deux freins réglementaires à lever

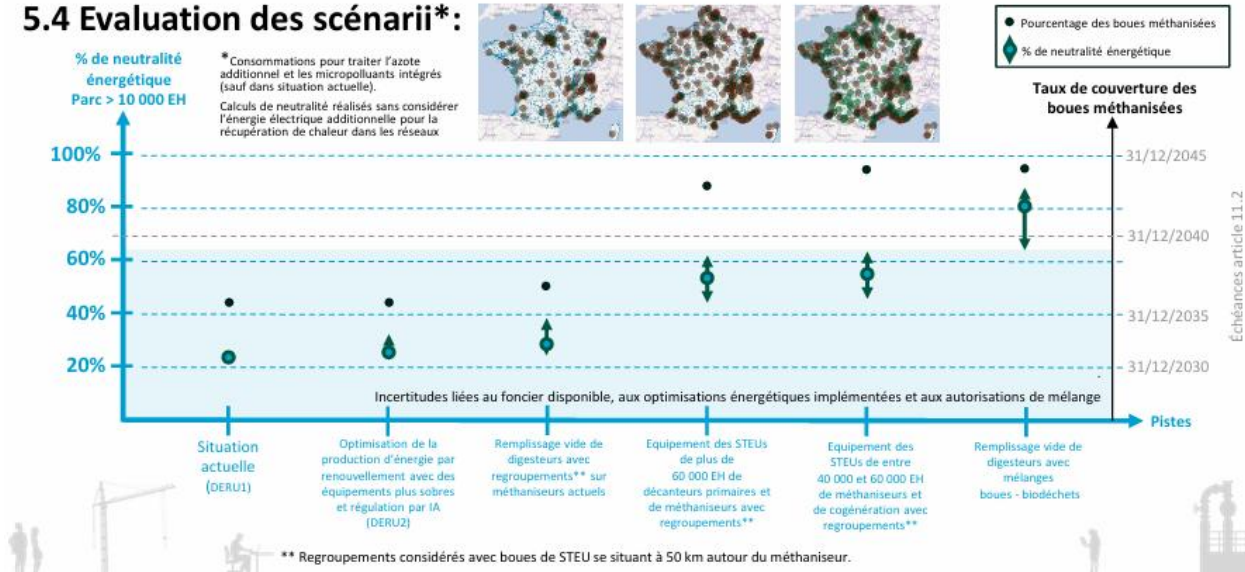
Si la France veut bénéficier de tout le potentiel que la méthanisation peut offrir, il y a certains freins réglementaires à lever :

Regroupements : Arrêté ICPE relatif à la rubrique 2781-2	Mélange boues / biodéchets : Ordonnance du 29/07/2020 (art. 11 et 12)
S'applique aux installations de méthanisation d'eaux usées ou de boues d'épuration urbaines lorsqu'elles sont méthanisées en dehors de leur site de production (cas de regroupements de boues sur un même site pour combler les vides de digesteurs). Il impose une distance de 200m entre le méthaniseur et les habitations ce qui rend la plupart des méthaniseurs non éligibles aux regroupements de boues. Il impose également une rétention des ouvrages qui pénalise la faisabilité et les investissements.	<ul style="list-style-type: none"> • L'Europe autorise les mélanges boues/biodéchets. De nombreux pays européens l'autorisent (Allemagne, Danemark, Italie, Hongrie entre autres). La France l'interdit sauf autorisation préfectorale (ex : Villiers St Frédéric). • Interdiction de retour sur la file des retours en tête post déshydratation (digestat liquide) si intrants de type Span même si hygiénisé avant mélange (Instruction technique 2020-41 du 21/01/2020) <p>► Nécessité d'une harmonisation au niveau Européen</p>

La levée des freins réglementaires est un pré-requis si la France veut arriver aux objectifs de neutralité fixés par la directive.

5. Potentiel de la méthanisation :

5.4 Evaluation des scénarii*:



5. Potentiel de la méthanisation :

5.5 Investissements

Méthanisation

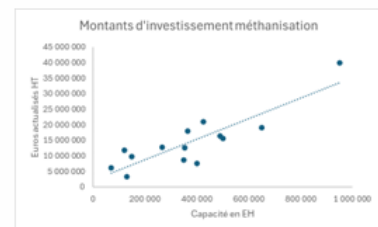
Pour évaluer les coûts d'investissement de la méthanisation, le Synteau a construit des abaques sur la base d'affaires réalisées en actualisant leur coût. L'abaque est présentée ci-après.

Traitement des retours azotés

Peu de références existent dont les prix sont accessibles. Toutefois, nous avons essayé d'estimer un coût sur la base de l'affaire d'Annecy et de l'affaire de Bellingham aux Etats-Unis*.

Nous avons considéré, pour des affaires autour de 250 000 EH, un coût de 15 €/EH et pour celles de 60 000 EH, un coût à 25 €/EH si traitement des retours seuls et de 20€/EH si ces travaux sont inclus dans le cadre d'une nouvelle méthanisation.

La mise en place d'un traitement des retours des digestats devra être évalué au cas par cas en fonction des regroupements envisagés et ne saurait être estimé dans cette étude.



La méthanisation va être indispensable à l'atteinte des différents objectifs de la DERU 2 et en particulier l'objectif minimal de 65% de neutralité énergétique ne pourra être atteint avec de la méthanisation que si :

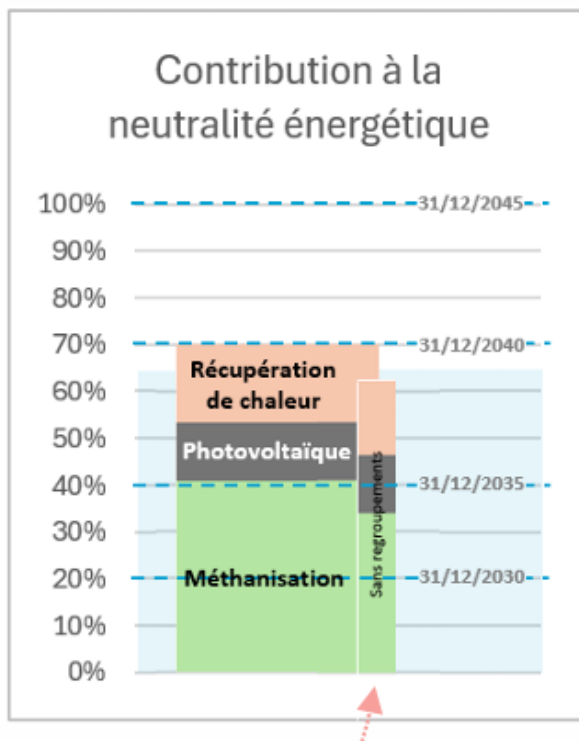
1. des regroupements sont réalisés – 2. des nouveaux ouvrages (décantation primaire, nouveaux méthaniseurs) sont construits
3. des objectifs à niveau local sont fixés – 4. la législation évolue sur l'ICPE et les co-intants

Mais elle ne sera pas suffisante pour atteindre les objectifs de 2045 sans autres sources d'énergies

* <https://cob.org/wp-content/uploads/TM-20-Side-Stream-N-Removal-Final-Stamped.pdf>

Pour le calcul de la neutralité (et dans l'ordonnancement proposé en chapitre 6), nous avons pris les hypothèses suivantes :

- **Méthanisation : 1 100 M€** (contribution à 40% de l'énergie produite – énergie additionnelle : 549 GWh/an)
 - 90% des STEUs ≥ 60 000 EH avec des décanteurs primaires seront équipées de méthaniseurs (avec une échéance 2033)
 - 75% des autres STEUs ≥ 60 000 EH seront équipées de méthaniseurs (avec une échéance 2039)
 - 10% des STEUs ≥ 60 000 EH seront en outre équipées de décanteurs primaires (avec une échéance 2045)
 - 50% de regroupements considérés
 - 90% du biométhane généré envoyé en injection et 10% en cogénération
 - Passage de 50% du biométhane aujourd'hui cogénéré en injection (d'ici 2045)



10. Synthèse sur article 11

Points à retenir

- **L'obtention de l'autosuffisance se fera par la combinaison de :**
 - L'optimisation énergétique des STEUs
 - L'accroissement de la méthanisation
 - L'installation de photovoltaïque
 - La valorisation de l'énergie thermique des eaux traitées**Même avec ces actions, le 65% mini reste un objectif ambitieux !**
- **Les règles du jeu du calcul de l'autonomie énergétique sont encore floues**
- **La méthanisation présente l'avantage de la réduction des boues, de contribuer à la production de gaz non fossile et de ne pas dépendre de facteurs extérieurs (Importation de panneaux, création de réseaux de chaleur)**



Important : La levée des contraintes réglementaires pour faciliter le regroupement des boues et la codigestion avec des biodéchets est indispensable pour tenir les 65%.



Remarques :

- Nécessité de pousser la création de réseaux de chaleur en parallèle de la DERU
- Nécessité de garantir les tarifs de rachat du gaz sur une période longue pour pousser la méthanisation



