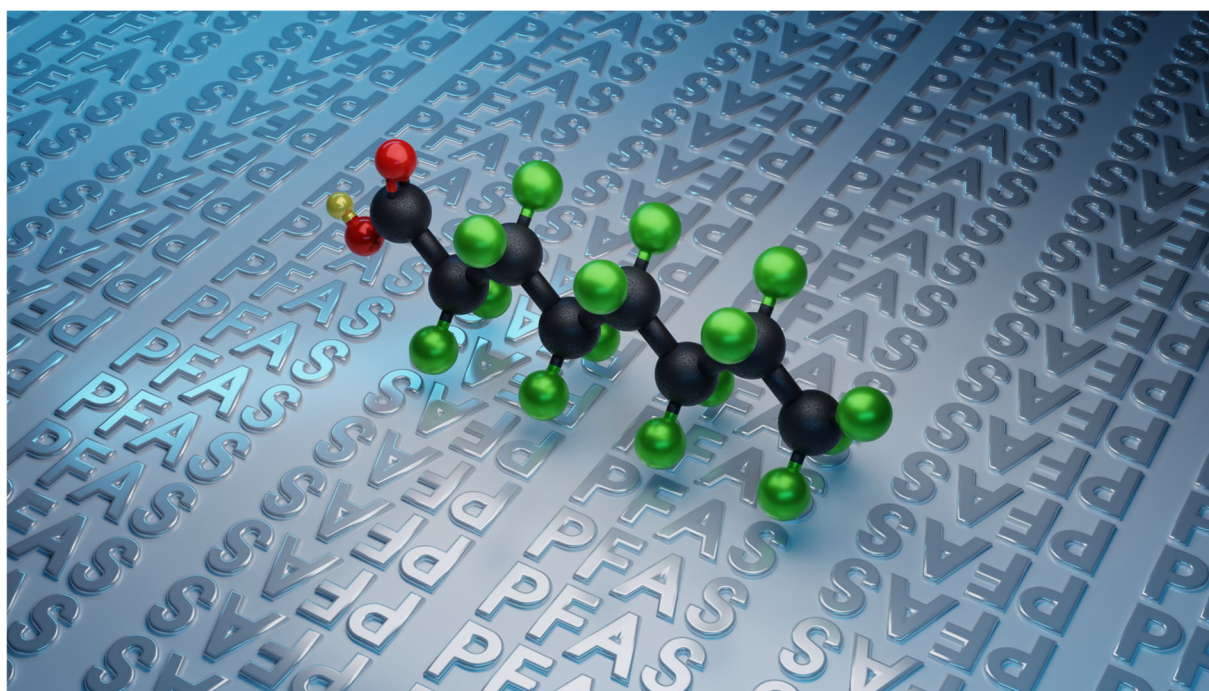


Projet PFAS dans le domaine des sites pollués et des déchets

« Solutions possibles pour la gestion des sites pollués par des PFAS ».

Rapport sur les résultats des groupes de travail sur les sites pollués et les déchets OFEV-cantons 2022/2023



Berne, le 23 octobre 2024

sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Mentions légales

Mandant

Office fédéral de l'environnement (OFEV), division Déchets et matières premières, section Sites pollués, CH-3003 Berne

Prestataires et auteurs de rapports

Bernhold Hahn
Spécialiste sites pollués
Ausserdorfstrasse 26
8052 Zürich
bernhold.hahn@gmx.ch

Accompagnement OFEV

Monika Schwab-Wyssner	OFEV, Division Déchets et matières premières (direction de projet)
André Laube	OFEV, division Déchets et matières premières (direction du sous-projet)
Rolf Kettler	OFEV, division Déchets et matières premières

Groupes de travail dans le cadre du projet « PFAS dans le domaine des sites pollués ».

Dans le cadre du projet « PFAS dans le domaine des sites pollués », les groupes de travail suivants ont participé à l'élaboration de ce rapport : le comité technique du projet, le groupe de travail PFAS Sites pollués ainsi que le groupe de travail PFAS Déchets. Les participants à ces groupes de travail sont mentionnés ci-dessous.

Note

Ce rapport a été rédigé à la demande de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).
Le contractant est seul responsable de son contenu.

Le présent rapport de résultats présente les principales solutions proposées à l'issue des discussions menées au sein des deux groupes de travail Sites pollués et Déchets et du comité d'experts. Les contenus sont des propositions et des recommandations des groupes de travail et n'ont pas la même valeur juridique qu'une aide à l'exécution de l'OFEV.

Le présent rapport de résultats reflète l'état des connaissances au début de l'année 2024, avec l'expérience acquise à ce jour en matière de gestion des sites pollués par des PFAS et des déchets. Il tient également compte de l'expérience encore manquante dans différents domaines de la législation sur les déchets et les sites pollués.

Il convient également de noter que toutes les solutions proposées n'ont pas fait l'unanimité au sein des groupes de travail et que des opinions divergentes ont parfois été exprimées. Les solutions présentées ici reflètent l'opinion de la majorité. Quand la pertinence est élevée, il est fait référence à l'opinion minoritaire.

Accompagnement du comité technique du projet

Mathieu Buchs	OFEV
Dörte Carstens	Canton LU
Yves Degoumois	Canton VS
Bettina Flury	Canton ZH
Sébastien Fracheboud	Canton VD
Bernhold Hahn	Soutien externe aux projets
Rolf Kettler	OFEV
André Laube	OFEV
Michael Madliger	Canton AG
Monika Schwab	OFEV (direction du projet)
Christiane Wermeille	OFEV

Groupe de travail PFAS Sites pollués

Thomas Back	Canton TG
Sybille Büsser	Canton SG
Denise Bussien-Grosjean	Canton VD
Nicolle Chollet	Canton BE
Afifé El Korh	OFEV
François Gainon	Canton NE
Carole Guggenheim	Canton ZH
Bernhold Hahn	Soutien externe aux projets
Rolf Kettler	OFEV
Monika Schwab	OFEV (direction du projet et direction du groupe de travail)
Matthias Stuhmann	Canton BL
Murielle Voutaz	Canton VS
Eva Zellmann	Canton BS

Groupe de travail PFAS Déchets

Bernhold Hahn	Soutien externe aux projets
Julian Hügli	Canton NW
Mario Karrer	Canton NW
Rolf Kettler	OFEV
André Laube	OFEV (direction du groupe de travail)
Thierry Pralong	Canton VS
Nadine Schneider	Canton ZH
David Schönbächler	Canton AG
Mauro Togni	Canton TI
Patrick Walser	Canton TG

Contenu

I. Partie générale.....	7
1. Situation de départ / objectif	7
2. Termes liés au sol et au sous-sol	9
3. Valeur de concentration pour les PFAS selon l'annexe 1 de l'ordonnance sur les sites pollués.....	9
4. Valeurs limites de l'OLED pour les matières solides.....	10
5. Étendue du programme d'analyse des PFAS.....	13
6. Échantillons solides - teneur totale ou lixiviat OLED ?	17
7. Pollution de fond par les PFAS dans la couche supérieure du sol.....	19
8. La pollution par les PFAS dans la couche sous-jacente du sol et le sous-sol	21
9. Les PFAS dans les eaux souterraines	22
II. Aspects de la législation sur les sites pollués.....	24
10. Arbres de décision pour l'inscription au CASIP	24
11. Délimitation des sites pollués par des PFAS dans le CASIP	24
12. Priorisation des investigations sur les sites suspectés de contenir des PFAS	29
13. Stratégie d'investigation dans le cadre de l'investigation technique.....	31
14. Critères de suppression du CASIP.....	33
15. Urgence des mesures d'assainissement.....	33
16. Assainissement - méthodes et mesures.....	34
17. Confinement comme mesure d'assainissement	35
18. Critères possibles d'interruption de l'assainissement.....	36
19. Projets de construction sur des sites pollués par des PFAS	36
III. Aspects de la législation sur les déchets.....	38
<i>Situation de la pollution par les PFAS</i>	38
20. Situation de départ en matière de gestion des déchets	38
21. Connaissances préliminaires sur la pollution par les PFAS dans les décharges	39
22. Conséquences des pollutions par les PFAS constatées pour la classification des déchets et les filières d'élimination.....	40
<i>Traitement</i>	42
23. Lavage des sols	42
24. Traitement thermique et valorisation.....	43
<i>Valorisation</i>	45
25. Valeur T et valorisation sous conditions	45
<i>Mise en décharge</i>	46
26. Valeurs limites pour la mise en décharge des déchets	46
27. Gestion des sols excédentaires non valorisables	48
28. Mise en œuvre lors de la planification, de l'autorisation, du suivi	49

Annexes

- Annexe 1 :** Note sur la détermination d'une valeur totale pour les PFAS pondérée en fonction de la toxicité selon l'annexe 1 OSites, état au 22.04.2024
- Annexe 2 :** Tableau « Liste des activités pertinentes pour 30 (+36) substances PFAS », Mise à jour : 29.8.2023
- Annexe 3 :** Rapport d'experts « Aides pour l'inscription au cadastre des sites pollués (CSP) », Magma AG, du 30.01.2023
- Annexe 4 :** Synthèse « Assainissement des sites contaminés par des PFAS », état au 04.08.2023
- Annexe 5 :** Note sur la détermination d'une valeur limite selon l'OLED pour la somme de PFAS en vue de la mise en décharge des déchets, état au 20.8.2024

I. Partie générale

1. Situation de départ / objectif

Depuis quelques années, les PFAS (composés alkyles polyfluorés et perfluorés) font l'objet d'une attention particulière de la part des chercheurs, des autorités, des consommateurs, des politiques et des médias. Autant leurs propriétés hydrofuges, oléofuges et anti-tâches sont pratiques dans de nombreuses applications (vêtements de plein air, mousses anti-incendie, emballages alimentaires, revêtements en téflon, etc.), autant leur stabilité chimique et thermique dans l'environnement est problématique. Ils sont également appelés « forever chemicals » (ou « polluants éternels ») en raison de leur persistance. Ils sont désormais omniprésents dans tous les milieux environnementaux, et des concentrations élevées de PFAS sont parfois mesurées sur des sites pollués. Combinés à leur toxicité considérable, ils sont devenus un défi majeur en tant que « contaminants émergents ». Des études menées dans les pays de l'UE ont montré que de nombreuses personnes sont exposées à des concentrations de PFAS supérieures aux valeurs de référence recommandées par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA).

En collaboration avec les cantons, l'OFEV s'est penché depuis 2019 sur le thème des PFAS, notamment dans le cadre du projet « PFAS et sites pollués en Suisse ». Les travaux ont été encadrés par un groupe d'accompagnement composé de représentants des autorités des sites pollués de différents cantons. Dans ce cadre, des échantillons d'eau souterraine ont été investigués dans la zone en aval (élargie) d'une trentaine de sites, où des PFAS pourraient avoir été utilisés. Ces analyses ont révélé des concentrations parfois élevées de PFAS. En s'appuyant sur des outils de travail allemands, les bases du comportement environnemental, de la toxicologie, de l'analyse et de l'utilisation des PFAS ont été rassemblées et les premières approches des critères d'inscription au cadastre des sites pollués (CASIP), des valeurs d'évaluation, de la stratégie d'investigation et des procédures d'assainissement ont été élaborées. Ces bases techniques ont été publiées dans le rapport « **Bases de décision pour le traitement des sites pollués par des PFAS en Suisse** »¹ d'Arcadis Suisse SA de juillet 2021, qui constitue une base essentielle pour le présent rapport de résultats.

Le **projet « PFAS dans le domaine des sites pollués et des déchets », lancé en 2022**, a permis de développer des solutions ou des approches pour la gestion des sites pollués par des PFAS. L'objectif du projet était de développer des instruments applicables dans les domaines de l'investigation, de l'évaluation et de l'assainissement des sites pollués par des PFAS, ainsi que dans le domaine de l'élimination des déchets contenant des PFAS. Le cadre légal est défini par la loi sur la protection de l'environnement (LPE), la loi sur la protection des eaux (LEaux), l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites), l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) et l'ordonnance relative à la taxe pour l'assainissement des sites contaminés (OTAS). Il s'agit de garantir que les sites pollués soient assainis lorsqu'ils entraînent des atteintes nuisibles ou incommodes. En outre, les déchets issus de l'assainissement de sites contaminés et de projets de construction sur des sites pollués doivent être éliminés dans le respect de l'environnement.

Deux groupes de travail ont été constitués à cet effet, avec des représentants de l'OFEV et des services cantonaux chargés des sites pollués et des déchets :

¹ <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/altlasten/externe-studien-berichte/expertenbericht-pfas.pdf.download.pdf/traitement-des-sites-pollues-par-des-PFAS.pdf>

- Groupe de travail PFAS Sites pollués
- Groupe de travail PFAS Déchets

La composition de ces groupes de travail a été établie par la Conférence des chefs de service et d'office de protection de l'environnement (CCE) ou par le Cercle Déchets et est indiquée dans le préambule.

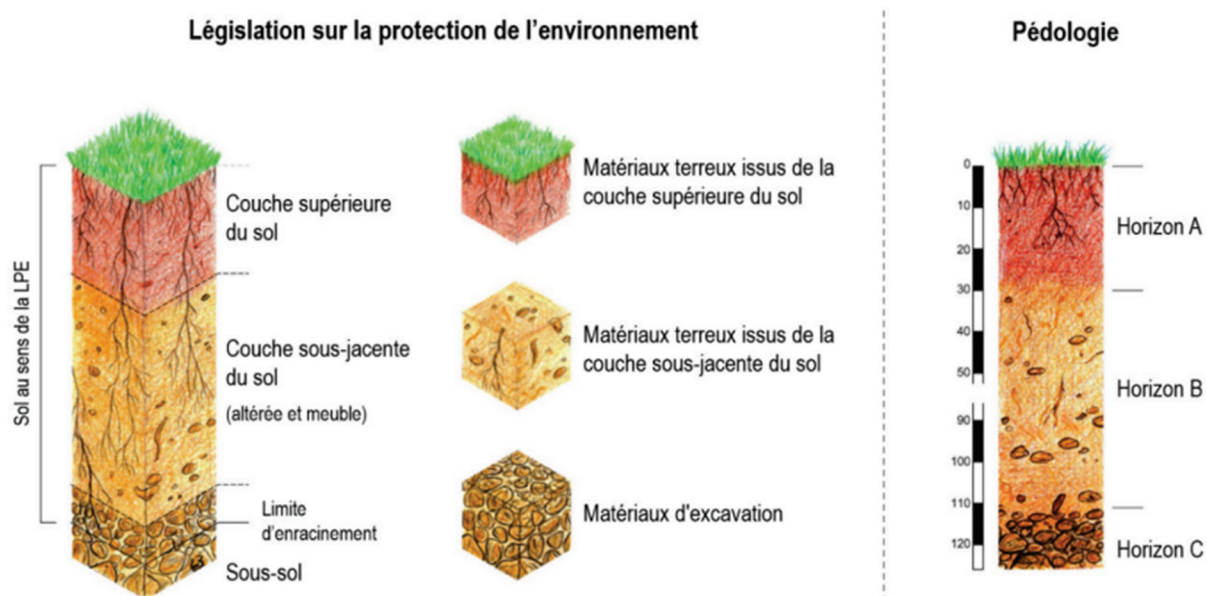
Un comité technique composé de représentants de différents cantons a été mis en place pour discuter et examiner les propositions élaborées par les groupes de travail.

Afin de préparer les thèmes essentiels dans les deux groupes de travail et de consolider une compréhension commune des questions relatives à la législation sur les sites pollués et les déchets, un atelier commun a été organisé en mars 2022 avec les participants des deux groupes de travail PFAS et le comité technique.

2. Termes liés au sol et au sous-sol

- Horizon A: Couche supérieure du sol,
Humus : couche supérieure, généralement d'une épaisseur d'environ 20 à 30 cm.
- Horizon B : Couche sous-jacente du sol,
situé sous la couche supérieure du sol, généralement d'une épaisseur d'environ 30 à 70 cm
- Horizon C: Sous-sol minéral
- Sol: Horizons A et B
Couche supérieure de terre non imperméabilisée dans laquelle les plantes peuvent pousser (art. 7 al. 4^{bis} LPE).
- Excavation : Matériaux d'excavation et de percement selon l'art. 3, let. f, OLED, matériau excavé ou déblayé lors de travaux de construction.

La distinction entre les horizons correspond à la description de la figure 1 de l'aide à l'exécution de l'OFEV « Évaluation des sols en vue de leur valorisation² ».



3. Valeur de concentration pour les PFAS selon l'annexe 1 de l'ordonnance sur les sites pollués

Remarque : des informations détaillées sur la détermination d'une valeur de concentration selon l'OSites pour les PFAS figurent dans la note séparée du 22.04.2024 « Note sur la détermination d'une valeur totale pour les PFAS pondérée en fonction de la toxicité selon l'annexe 1 OSites » de l'OFEV.

² <https://www.bafu.admin.ch/uv-2112-f>

Cette note est jointe au rapport de résultats en tant qu'annexe 1. Seuls les aspects les plus importants sont donc repris ci-dessous.

L'ordonnance sur les sites contaminés ne contient actuellement aucune valeur de concentration pour le groupe de substances des PFAS. Selon l'annexe 1, al. 1 OSites, « si aucune valeur de concentration n'a été déterminée pour certaines substances pouvant polluer les eaux et se trouvant sur un site, l'autorité fixe les valeurs requises au cas par cas en accord avec l'OFEV, selon les prescriptions de la législation sur la protection des eaux ». En raison de la nécessité croissante d'agir, l'OFEV a déduit – en tenant compte de l'état actuel des connaissances – une valeur totale des PFAS pondérée par la toxicité, qui peut être utilisée pour une évaluation conforme à la législation sur les sites pollués. Comme cette valeur ne figure actuellement pas dans l'OSites, elle doit être ordonnée par l'autorité compétente - et avec l'approbation de l'OFEV - en fonction du site.

Pour les biens à protéger que sont les eaux souterraines et les eaux de surface, la classification au titre de la législation sur les sites pollués se base actuellement sur la valeur totale pondérée en fonction de la toxicité (valeur totale TEQ) d'au moins (*) 9 substances individuelles PFAS définies :

Valeur de concentration actuelle : 50 ng TEQ / l

(PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS et PFOS)

(*) : si des substances individuelles PFAS supplémentaires sont mesurées, elles doivent être incluses dans la valeur totale. Pour l'étendue du programme d'analyse, voir le chapitre 5.

En l'état actuel des connaissances, il s'agit des PFAS qui sont les plus fréquents et dont les concentrations sont mesurables, ce qui permet de recenser et de classer la plupart des sites concernés par les PFAS. Les facteurs d'équivalence toxique correspondants ont été déterminés pour la pondération de ces 9 PFAS individuels. Pour plus de détails sur ces 9 substances individuelles PFAS et les facteurs d'équivalence toxique (TEF) correspondants, voir la note de l'OFEV du 22.04.2024 mentionnée ci-dessus et jointe en annexe 1.

Le seuil de quantification actuel pour les substances individuelles PFAS susmentionnées est de 1 ng/l. Il s'agit de la valeur mesurée non pondérée, sans multiplication par le facteur d'équivalence toxique correspondant. Pour les autres PFAS, il convient également de viser ce seuil de quantification. S'il peut être objectivement justifié que ce seuil de quantification ne peut pas être atteint pour certains PFAS, un seuil de quantification plus élevé peut être autorisé au cas par cas. Les éventuelles valeurs mesurées en dessous de ce seuil de quantification sont considérées comme des valeurs nulles dans le calcul de la somme.

Concernant la méthodologie de mesure, il est fait référence à l'aide à l'exécution de l'OFEV « Méthodes de mesure dans le domaine des déchets et des sites pollués - Etat 2022 ».

4. Valeurs limites de l'OLED pour les matières solides

Remarque : ce chapitre présente les principes essentiels à prendre en compte lors de l'application des valeurs limites pour les PFAS dans les matières solides. L'annexe 5 et le chapitre 26 fournissent des informations détaillées sur la détermination des valeurs limites actuellement appliquées en matière de déchets.

Valeur pour les matières solides en tant que valeur totale non pondérée

En règle générale, une évaluation par substance individuelle est appliquée pour les valeurs limites. Comme les PFAS comprennent un grand nombre de substances individuelles et qu'il n'existe pas encore de données de base pour l'évaluation de certaines d'entre elles, une évaluation par substance individuelle n'est pas très appropriée pour les PFAS, ce qui explique pourquoi on travaille avec des valeurs totales. Par rapport à la valeur de concentration selon l'OSites, les valeurs limites pour les matières solides discutées ci-après sont des valeurs totales pour les PFAS, qui se composent des valeurs individuelles des PFAS non pondérées, sans tenir compte des différentes toxicités des substances individuelles des PFAS. Si l'on voulait tenir compte de la toxicité dans la valeur totale des matières solides, il faudrait, en plus des facteurs de toxicité, inclure les propriétés d'adsorption de chaque substance individuelle et les propriétés des matrices spécifiques au site, car celles-ci influencent également la libération des PFAS et donc la toxicité totale des déchets contenant des PFAS. Comme la création de cette base de données serait extrêmement coûteuse, cela n'est pas réalisable dans la pratique. De plus, il existe actuellement des lacunes dans les connaissances sur le comportement exact des différents PFAS dans le sous-sol. Néanmoins, pour simplifier, on peut dire que la toxicité et la sorption des différents PFAS sont fortement corrélées, c'est-à-dire que les PFAS à chaîne longue s'accumulent plus fortement dans le corps et sont plus fortement absorbés, ils sont donc plus toxiques, mais ils sont aussi moins bien éliminés. Les effets se compensent donc dans une certaine mesure. C'est pourquoi il est acceptable, du point de vue des risques pour l'environnement et de l'applicabilité, de se baser sur la concentration absolue de PFAS, non pondérée du point de vue toxicologique, pour les valeurs limites des matières solides.

La valeur totale pour les matières solides comprend au minimum les 9 mêmes substances individuelles de PFAS que celles utilisées pour la valeur de concentration OSites :

Valeur des PFAS pour les matières solides:

- **Valeur cumulée d'au moins 9 substances individuelles PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS et PFOS).**
- **Si des substances individuelles de PFAS supplémentaires sont détectées, elles seront incluses dans la valeur totale.**

Remarque : les considérations relatives à l'étendue ou à l'extension du programme analytique ainsi qu'à l'utilisation possible d'investigations sur le lixiviat sont présentées dans les chapitres 5 et 6 ci-après. Concernant la méthode de mesure, nous renvoyons à l'aide à l'exécution de l'OFEV « Méthodes de mesure dans le domaine des déchets et des sites pollués - Etat 2022 ».

Seuil de quantification analytique des PFAS dans les échantillons solides et utilisation pour l'évaluation

Le seuil de quantification analytique des matières solides pour les neuf substances individuelles PFAS est de 0,1 µg/kg selon l'état actuel. Dans certains cas, des seuils de quantification plus élevés peuvent être autorisés pour des substances individuelles s'il est possible de justifier objectivement pourquoi les 0,1 µg/kg ne peuvent pas être atteints.

Les PFAS ne sont pas des substances naturelles mais anthropiques, c'est-à-dire qu'ils n'existent pas dans l'environnement mais y sont introduits par les activités humaines. Par définition, ils ne doivent donc pas être présents dans les déchets non pollués (voir également l'aide à l'exécution de l'OFEV

« Détermination des valeurs de concentration et des valeurs limites³ ». Le seuil de quantification correspond donc à la valeur limite pour les matériaux d'excavation non pollués.

- **Valeur U (= valeur limite pour les matériaux d'excavation non pollués selon l'annexe 3, chiffre 1 OLED) :**
Actuellement, il n'existe pas encore de valeur U pour les PFAS dans l'OLED. Selon l'application usuelle pour les polluants chimiques d'origine anthropique, la valeur U correspond au seuil de quantification par substance individuelle de PFAS et s'élève à 0,1 µg/kg.

Autres valeurs limites relevant de la législation sur les déchets selon l'OLED

Aucune valeur limite n'a encore été fixée pour les PFAS au niveau de l'ordonnance. C'est pourquoi l'OFEV doit approuver les valeurs limites au cas par cas, conformément à l'annexe 3, chiffre 3, et à l'annexe 5, chiffre 6, de l'OLED. Cela concerne les valeurs suivantes :

- Valeur T : valeur limite pour des matériaux d'excavation faiblement pollués (tolérables) selon l'annexe 3, chiffre 2 OLED.
- Valeur B : valeur limite pour les matériaux destinés à la mise en décharge de type B selon l'annexe 5, chiffre 2.3 OLED.
- Valeur E : valeur limite pour les matériaux destinés à la mise en décharge de type E selon l'annexe 5, chiffre 5.2 OLED.

Pour déterminer ces valeurs, on se base généralement sur la valeur de concentration selon l'OSites ainsi que sur la mobilité générale du polluant dans la matrice des déchets. Pour les PFAS, cette approche est problématique car, d'une part, on utilise des valeurs totales (dans le cas de la valeur de concentration OSites, elles sont en outre pondérées en fonction de la toxicité) qui peuvent présenter une composition variable. D'autre part, il faut tenir compte de la forte pollution de fond ubiquitaire - d'origine anthropique - dans la couche supérieure du sol, qui est examinée en détail au chapitre 7. En outre, les mesures de réduction ou de prévention des rejets de déchets s'appliquent aux PFAS conformément à la Convention POP (RS 0.814.03). Enfin, il n'existe actuellement pas de valeurs indicatives et de seuils d'investigation pour les PFAS dans la législation sur la protection des sols, qui permettraient d'évaluer la valorisation des sols.

C'est pourquoi les valeurs limites pour les PFAS conformes à la législation sur les déchets ne peuvent pas se baser uniquement sur l'estimation de la mise en danger toxicologique, mais doivent également tenir compte de la faisabilité technique, de l'applicabilité, de la présence dans différents flux de déchets et de la pollution de fond de la couche supérieure du sol.

Jusqu'à ce qu'elles soient définitivement fixées et intégrées dans l'OLED, l'application de valeurs limites relevant de la législation sur les déchets nécessite l'approbation de l'OFEV au cas par cas. Actuellement, l'OFEV recommande d'utiliser les valeurs suivantes :

- Valeur T : 2,5 µg/kg (Σ PFAS non pondéré)
- Valeur B : 5,0 µg/kg (Σ PFAS non pondéré)
- Valeur E : 5,0 µg/kg (Σ PFAS non pondéré)

³ <https://www.bafu.admin.ch/uv-1333-f>

Les valeurs approuvées par l'OFEV ont la même valeur juridique pour le site concerné qu'une valeur mentionnée dans une ordonnance. La valeur ordonnée par l'autorité est juridiquement contraignante pour le cas particulier en question.

Pour une analyse détaillée de la pratique actuelle de détermination et des conséquences qui en découlent, voir le chapitre 26. Il y est également décrit que la majorité du groupe de travail est favorable à des valeurs plus basses pour les qualités T et B.

5. Étendue du programme d'analyse des PFAS

« Programme minimal de 9 PFAS individuels »

Conformément au chapitre 3, la classification des sites pollués pour les biens à protéger que sont les eaux souterraines et les eaux de surface **se fonde sur la valeur totale pondérée en fonction de la toxicité (valeur totale TEQ) de 9 substances individuelles PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS et PFOS)**. En l'état actuel des connaissances, il s'agit des PFAS qui sont les plus fréquents et dont les concentrations sont mesurables, ce qui permet de recenser et de classer la plupart des sites où sont présents des PFAS. Pour ces 9 PFAS individuels, les facteurs d'équivalence toxique (TEF) correspondants ont été déterminés à des fins de pondération. Ces 9 paramètres individuels sont appelés « programme minimal » dans la suite du texte. Pour l'évaluation des échantillons solides, le programme minimal correspond également à la somme de ces 9 PFAS individuels, mais sans pondération de la toxicité (voir chapitre 4).

Extension du programme minimal

Des recherches historiques peuvent laisser supposer que d'autres PFAS pourraient être présents sur le site, par exemple sous la forme de composés précurseurs ou issus d'applications spéciales. Dans de tels cas, le programme de mesure doit être étendu en conséquence et les substances en question doivent également être incluses dans la valeur totale des PFAS. Une recherche bibliographique approfondie a permis d'établir une vue d'ensemble des principales substances individuelles de PFAS utilisées et détectées dans les secteurs/processus concernés. Ce tableau intitulé « **Liste des activités pertinentes pour 30 (+36) substances PFAS** », **état au 29.8.2023**, est intégré en annexe 2. Cette liste doit être utilisée pour étendre le programme minimal en cas de suspicion correspondante.

« Programme complet » selon l'offre des laboratoires d'analyse

Pour une clarification complète de la situation ou en cas d'incertitude sur l'utilisation des PFAS, il est également possible d'établir un « programme complet » qui offre une plus grande sécurité tant au propriétaire du site qu'à l'autorité d'exécution compétente. Pour un tel programme complet, on peut se référer aux programmes d'analyse des PFAS proposés par les laboratoires d'analyse, qui comprennent actuellement en Suisse jusqu'à 40 substances individuelles (état 2024). Sur la base des premières expériences, il est recommandé d'ajouter à ces « programmes complets » les substances Capstone A/B, ADONA, 6:2-FTS, 8:2-FTS et GEN-X, dans la mesure où elles n'y figurent pas mais peuvent être mesurées par le laboratoire concerné.

En raison du manque de données toxicologiques de base, il n'existe cependant des facteurs d'équivalence toxique que pour quelques PFAS. L'OFEV a publié sur son site Internet les facteurs d'équivalence toxique de toutes les substances individuelles PFAS mesurées à ce jour en Suisse à des concentrations significatives⁴. Si d'autres facteurs d'équivalence toxique sont nécessaires pour une évaluation des biens à protéger que sont les eaux souterraines et les eaux de surface conformément à la législation sur les sites pollués, un spécialiste doit vérifier si de tels facteurs peuvent être déduits avec une fiabilité suffisante. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes. Une approche consiste par exemple à essayer de prédire les propriétés de la substance cible en se basant sur des composés de structure similaire dont la toxicité et la toxicocinétique sont connues (méthode « Read-Across » ou de lecture croisée). Les facteurs d'équivalence toxique qui en découlent sont ensuite soumis à l'OFEV pour accord dans le cadre de l'approbation de la valeur de concentration. Les valeurs approuvées sont collectées par l'OFEV et mises à la disposition des autorités d'exécution sur le site Internet de l'OFEV mentionné précédemment.

Décision sur l'étendue du programme d'analyses par l'autorité d'exécution cantonale

L'autorité d'exécution cantonale compétente décide de la mise en œuvre du programme minimal, d'un programme étendu ou d'un programme complet. Il existe différentes procédures. Celles-ci sont énumérées ci-dessous et constituent une recommandation au sens d'une aide :

- 1. En principe, il faut toujours analyser au moins le programme minimal avec les 9 substances individuelles PFAS recommandées par l'OFEV (avec des facteurs d'équivalence toxique connus).**
- 2. Si l'investigation historique révèle des indices de la présence d'autres PFAS pertinents, ceux-ci doivent être inclus en conséquence dans le programme d'investigation. Le tableau Excel « Liste des activités pertinentes pour 30 (+36) substances PFAS » peut être utile à cet égard (annexe 2). Les facteurs d'équivalence toxique correspondants doivent ensuite être pris en compte dans l'évaluation des sites pollués.**
- 3. Pour une connaissance complète de la pollution potentielle par les PFAS sur le site, un « programme complet » peut également être réalisé (pour la portée possible, voir ci-dessus).**

La mise en œuvre des investigations avancées peut se faire selon les options suivantes :

- 4. En cas de suspicion spécifique non confirmée, un programme complet peut être analysé lors d'une première campagne d'investigation. En fonction des résultats, l'étendue du programme d'analyse est ensuite réduite lors de la deuxième série (jusqu'à au moins un programme minimal).**
D'une part, le gain de connaissances plaide en faveur de la réalisation d'un programme d'analyse étendu ou d'un programme complet dans la phase initiale. D'autre part, les résultats donnent au propriétaire du site l'assurance que les PFAS qui pourraient être considérés comme pertinents à l'avenir - avec l'expérience - ont déjà été investigués.

⁴ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sites-contamines/info-specialistes/traitement-des-sites-contamines.html> > Valeurs de concentration.

Les facteurs d'équivalence toxique sont également indiqués dans l'annexe 1 « Note sur la détermination d'une valeur totale pour les PFAS pondérée en fonction de la toxicité selon l'annexe 1 OSites ».

5. Cette procédure peut également être appliquée uniquement à certains échantillons sélectionnés (réduction des coûts).
6. À l'inverse, lorsque les soupçons sont moins importants (par exemple, entreprises dont l'utilisation de PFAS n'est pas avérée, sites déjà étudiés, expérience de certains processus, etc.), l'étendue de l'investigation préalable peut être limitée au programme minimal. Si des pollutions aux PFAS sont détectées, le programme d'investigation peut être étendu lors de l'investigation de détail en fonction des soupçons existants.

Adaptation par l'acquisition continue de connaissances

Si, dans les années à venir, les conclusions des investigations menées sur les sites pollués par des PFAS indiquent que certains PFAS supplémentaires revêtent une importance telle qu'ils devraient en principe être inclus dans le programme minimal, l'OFEV adaptera en conséquence l'étendue de ce dernier.

Signification et application du TOP-Assay

Le TOP-Assay (en anglais : Total Oxidizable Precursor) est une méthode de laboratoire qui transforme par oxydation les composés précurseurs (inconnus) des PFAS en acides perfluorocarboxyliques (PFCA). Les PFCA sont les produits finaux de l'oxydation et peuvent ensuite être quantifiés par spectrométrie de masse (LC-MS/MS). En comparant l'échantillon non traité et l'échantillon traité, il est possible de déterminer (de manière semi-quantitative) la concentration de composés précurseurs existante.

Si, dans le cadre d'une investigation préalable au sens de l'art. 7 OSites, le Top-Assay montre qu'il faut s'attendre à trouver sur le site une « grande quantité » de composés précurseurs (en anglais « precursor ») inconnus ou d'autres PFAS non quantifiés par l'analyse d'une seule substance, le site doit faire l'objet d'une investigation supplémentaire avant d'être classé définitivement. En raison d'une expérience encore insuffisante en matière de pollution complexe par les PFAS, la règle générale suivante peut être appliquée jusqu'à nouvel ordre :

La « grande quantité » de composés précurseurs inconnus est pertinente lorsque la somme des acides carboxyliques nouvellement ajoutés après l'oxydation est deux fois plus importante que la somme des acides sulfoniques et carboxyliques (PFSA et PFCA) et des composés précurseurs mesurés en tant que substances individuelles avant l'oxydation.

Expression sous forme de formule :

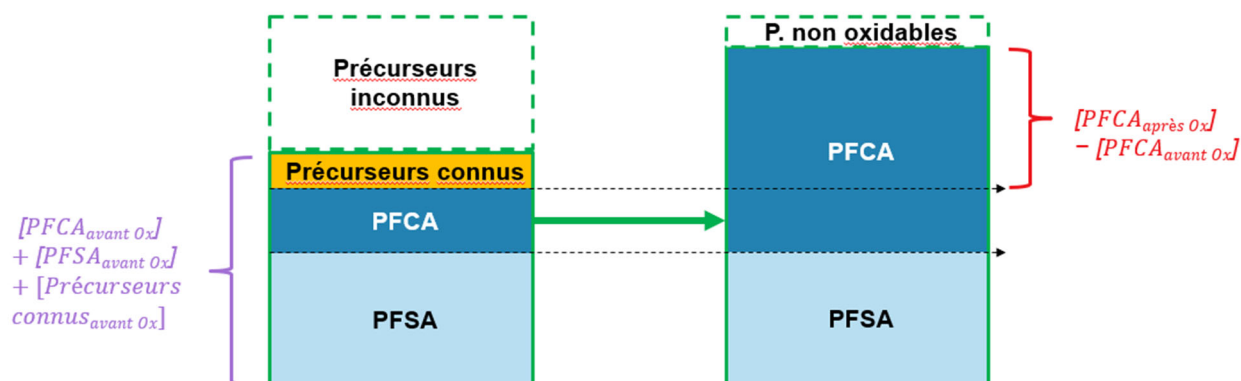
$$\frac{[PFCA_{\text{après Ox}}] - [PFCA_{\text{avant Ox}}]}{[PFCA_{\text{avant Ox}}] + [PFSA_{\text{avant Ox}}] + [Précurseurs connus_{\text{avant Ox}}]} > 2$$

Il ne s'agit que d'une estimation très approximative du potentiel de composés précurseurs inconnus sur un site. Cette estimation ne permet pas de tirer des conclusions quantitatives ou de déterminer le potentiel de mise en danger.

Si le quotient est supérieur à 2, il est recommandé de procéder à des investigations supplémentaires pour clarifier plus précisément la situation en matière de polluants. S'il en résulte que :

- a) la valeur de concentration totale en PFAS n'est pas dépassée, et que
- b) malgré des teneurs élevées obtenues avec le TOP-Assay, il n'y a pas d'atteintes nuisibles ou incommodantes, ni de danger concret d'en avoir,

le site peut être évalué comme ne nécessitant ni surveillance ni assainissement concernant les PFAS.



Principe de la méthode TOP-Assay : les acides perfluorocarboxyliques (PFCA) ainsi que les composés précurseurs connus et inconnus sont oxydés en PFCA. Les acides perfluorosulfoniques (PFSA) ne sont pratiquement pas affectés par l'oxydation. Cependant, les précurseurs ne peuvent pas tous être oxydés complètement et certains PFCA sont tellement dégradés par l'oxydation qu'ils ne sont plus détectables dans la fenêtre analytique de la LC-MS/MS (longueur de chaîne C inférieure à 4 atomes de carbone). Par conséquent, la méthode n'est que semi-quantitative.

Possibilités et limites du TOP-Assay

- Le TOP-Assay fournit une indication sur le **potentiel de composés précurseurs** (angl : precursor) sur un site. Cependant, le TOP-Assay consiste en une oxydation agressive dans des conditions contrôlées en laboratoire. Une transformation aussi complète des composés précurseurs n'est généralement pas attendue dans des conditions naturelles. De plus, la transformation dans le cadre du TOP-Assay n'est pas nécessairement la même que dans le milieu naturel du site (ex : transformation en PFHxA dans le TOP-Assay vs. transformation en PFHxS dans le milieu naturel).
- Dans le TOP-Assay, les composés nouvellement formés avec une longueur de chaîne inférieure à C4 ne peuvent pas être détectés. Par conséquent, si l'oxydation agressive transforme des composés précurseurs en fragments plus petits, ceux-ci seront perdus dans leur totalité.
- En raison de l'élimination des groupes terminaux, l'oxydation **entraîne des pertes de masse**.
- Il n'y a **pas de pondération en fonction des facteurs d'équivalence toxique**.
- Des **pertes** peuvent se produire en raison des méthodes utilisées (par exemple, par volatilisation des PFBA lors de la préparation des échantillons ; par un stockage prolongé peut conduire à la formation de produits stables ; par adsorption des PFAS à longue chaîne lors des étapes d'extraction et d'oxydation).
- La stratégie d'analyse de TOP-Assay et la méthode de mesure **ne sont pas encore standardisées**. Cela limite la comparabilité des résultats obtenus par différents laboratoires.
- Le TOP-Assay fournit quelques informations sur la longueur des chaînes et les isomères ramifiés et linéaires. Cependant, il ne quantifie ou n'identifie pas les **structures des composés précurseurs individuels**, ni ne quantifie la masse fluorée totale dans un échantillon.

- Néanmoins, l'analyse approfondie des résultats du TOP-Assay peut fournir des informations précieuses dans le cadre d'une investigation de détail ou servir de base à la planification et au dimensionnement d'une installation de traitement des PFAS.

6. Échantillons solides - teneur totale ou lixiviat OLED ?

Pour la délimitation des sites ainsi que pour la classification des matières solides dans le cadre de la législation sur les déchets, il convient de se baser sur la valeur totale non pondérée des matières solides (teneur totale, voir chapitre 4) pour les PFAS. Avec la modification de l'OTD de 2010, il a été décidé de fixer les valeurs limites pour les déchets à mettre en décharge sur la base des teneurs totales, car celles-ci représentent une mesure fiable du potentiel de pollution. Cette approche doit également être maintenue pour les PFAS.

La valeur de lixiviat selon l'OLED est la valeur limite à prendre en compte lorsqu'un déchet est destiné à être mis en décharge de type C. Pour l'évaluation, il convient dans ce cas de se baser sur la somme pondérée en fonction de la toxicité.

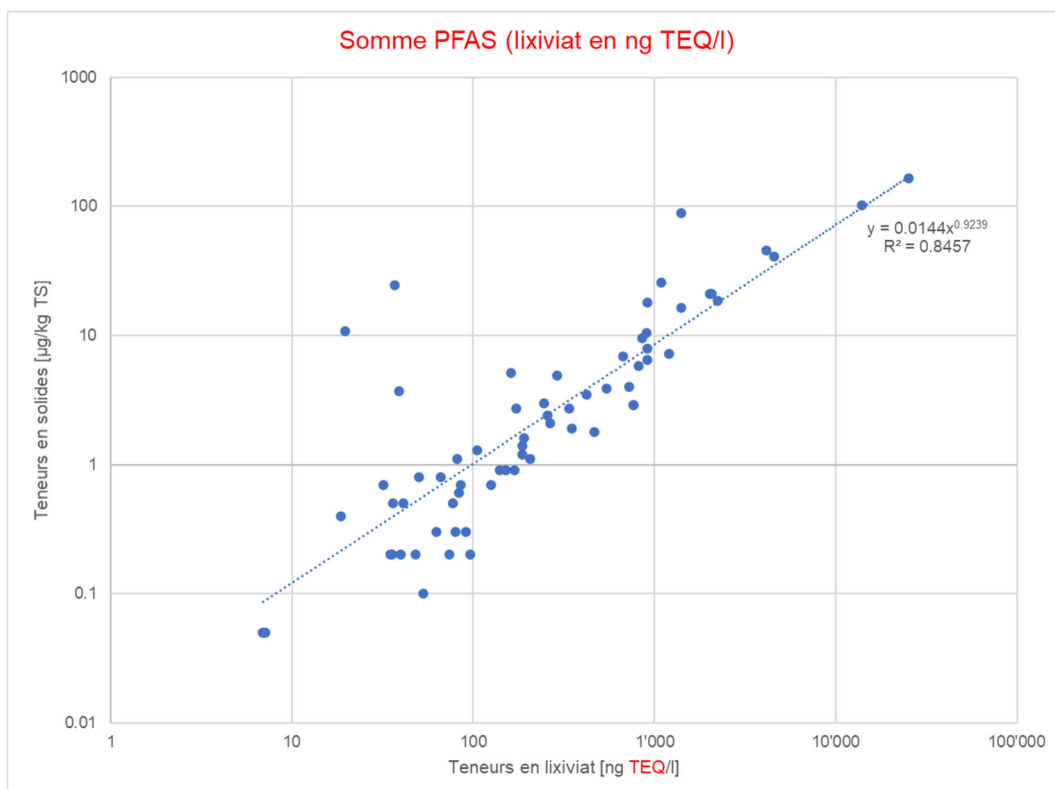
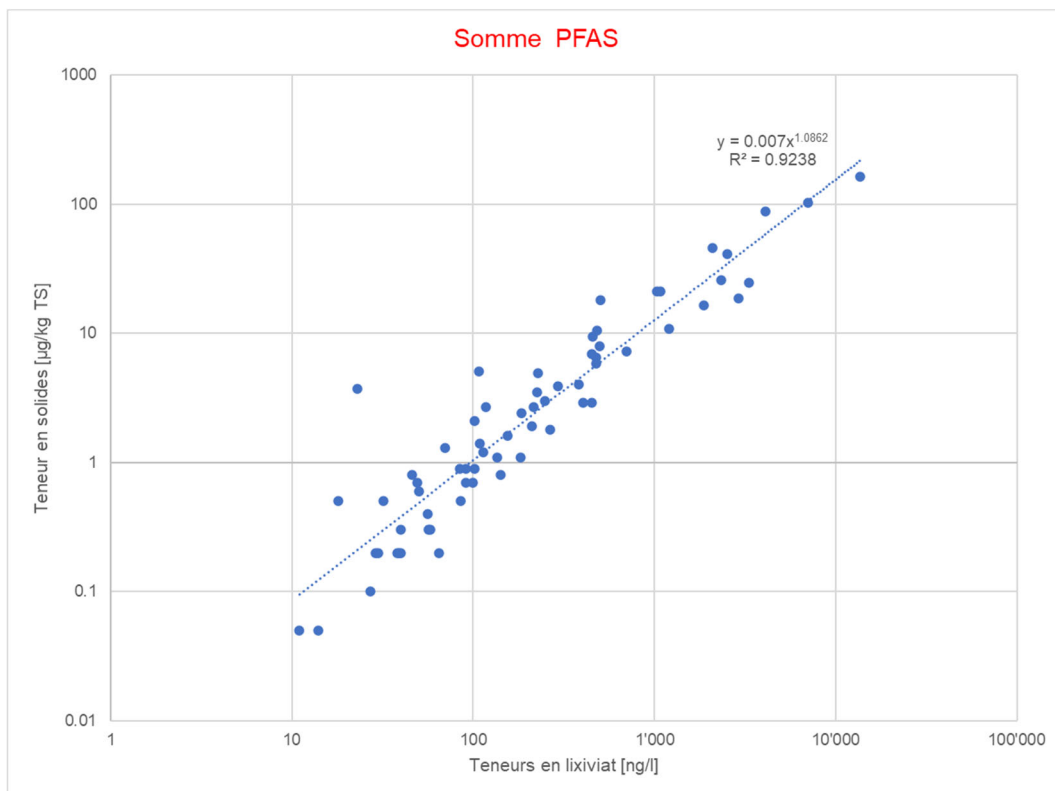
Première expérience de corrélation entre la teneur totale et le lixiviat selon l'OLED

Au sein du groupe de travail PFAS Sites pollués, la question s'est posée de savoir s'il fallait utiliser les valeurs de lixiviat selon l'OLED pour délimiter un site en cas de pollution par les PFAS, car cela permet de mieux refléter le risque pour les eaux souterraines dû au lessivage des PFAS.

Le choix de la valeur établie pour les matières solides ne pose aucun problème pour l'évaluation d'un risque pour les eaux souterraines s'il existe une corrélation robuste entre les deux valeurs. Les premières expériences tirées des études cantonales, qui ne sont toutefois pas encore suffisantes pour prendre une décision scientifique, indiquent plutôt une absence de corrélation ou une faible corrélation. Pour l'essentiel, les corrélations divergentes résultent des différentes propriétés de sorption des substances individuelles des PFAS. Dans le cas des PFAS, celles-ci sont influencées par de nombreuses propriétés physiques et chimiques de la matrice de sol. Les études scientifiques citent entre autres le coefficient d'adsorption K_{OC} , le carbone organique total COT, le pH, la capacité d'échange d'anions et la teneur en fer.

Recensement de la corrélation par des essais analytiques

Cependant, une étude de Bachema sur la corrélation entre les analyses de matières solides et de lixiviats (lixiviats de 24 heures selon l'OLED) sur l'ensemble de 66 échantillons de matériaux d'excavation provenant de différents sites a permis de constater une assez bonne corrélation. Ainsi, un lixiviat de 50 ng TEQ/l (= valeur de concentration selon l'OSites) correspond approximativement à une teneur en solides de 0,5 µg/kg. Selon cette approximation, une teneur en solides de 5 µg/kg conduirait à une teneur en lixiviat de l'ordre de 500 ng TEQ/l (dix fois la valeur de concentration de l'OSites). Il s'agit toutefois d'une estimation grossière portant sur 66 échantillons de sites très différents et non caractérisés. **Dans certains cas, la corrélation peut varier considérablement ou être plus faible, voire à peine perceptible.** Les mesures ont été effectuées exclusivement sur des échantillons souterrains (horizon C). Ces mesures ne permettent pas d'évaluer si la corrélation décrite s'applique également à la couche supérieure du sol (horizon A).



Remarque : la teneur en solides et le lixiviat de 24h ont été mesurés sur 66 échantillons de matériaux d'excavation. Les « 9 PFAS de l'OFEV » (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS) ont été mesurés. Les données sur l'origine des échantillons ne sont PAS disponibles en quantité exploitable. Toutes les valeurs mesurées ont donc été regroupées « en aveugle ».

Même si les résultats de Bachema ne constituent pas une étude scientifique et fondée, et que d'autres investigations et l'expérience de la pratique sont nécessaires, les données indiquent un ordre de grandeur approximatif qui peut être utilisé par exemple pour des estimations de mise en danger. Ainsi, on peut déjà s'attendre à une valeur de lixiviat de l'ordre de 50 ng TEQ/l pour des pollutions dans les matériaux d'excavation solides de l'ordre de 0,5 µg/kg. Même si cette valeur peut varier considérablement en fonction de la situation, il faut s'attendre, selon la corrélation ci-dessus, à un dépassement de la valeur de concentration actuellement en vigueur selon l'annexe 1 OSites, même pour des pollutions des matières solides inférieures à 1 µg/kg.

Conclusion

Pour la délimitation des sites dans le cadastre de sites pollués ainsi que pour la caractérisation des matériaux / déchets selon l'OLED, c'est la valeur non pondérée des matières solides qui s'applique.

Jusqu'à présent, il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre la valeur des matières solides et la valeur de lixiviat OLED qui soit suffisamment solide pour être utilisée dans la pratique. La valeur de lixiviat OLED peut cependant contribuer à la prise de décision ou à l'évaluation de la situation du site (estimation de la mise en danger). Les informations issues des futures mesures de la corrélation lixiviat-matières solides doivent être collectées et analysées. L'objectif est de mieux comprendre le comportement des PFAS dans le sous-sol.

7. Pollution de fond par les PFAS dans la couche supérieure du sol

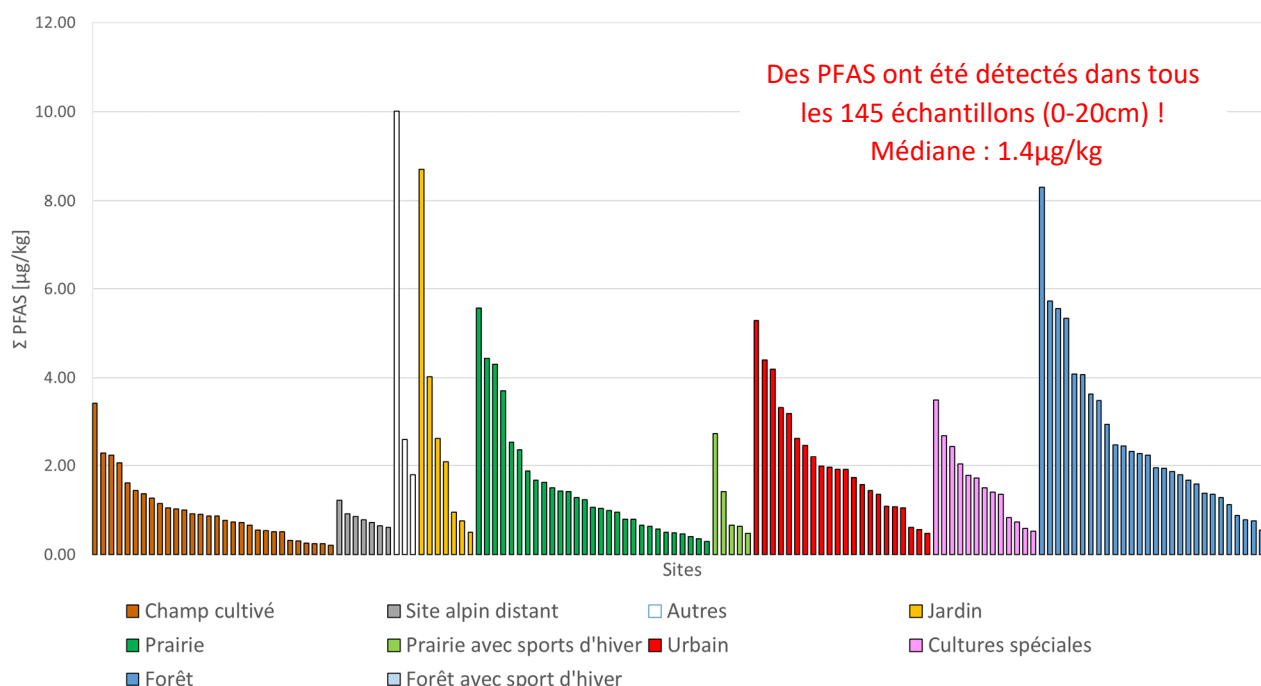
Dans le cadre d'une étude nationale initiée et financée par l'OFEV⁵, des PFAS ont été détectés dans les 145 échantillons de terre végétale analysés en été 2022 (profondeur de 0 à 20 cm, sites sans pollution suspectée, échantillons de réserve d'âges différents). La médiane est de 1,4 µg/kg (Σ30 PFAS), 94 % de toutes les valeurs mesurées étant inférieures à 5 µg/kg. Comme il s'agit de sites très différents de toute la Suisse et que des PFAS ont été trouvés dans TOUS les échantillons, on doit parler ici d'une pollution de fond. La pollution en PFAS ne varie que très peu si, au lieu des 30 PFAS mesurés, seuls les 9 PFAS figurant dans le « programme minimal » du chapitre 5 (PFBA, PFPeA, PFHpA, PFHxA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS) sont additionnés. Cela confirme donc l'application actuelle d'une valeur totale pour les eaux souterraines, les eaux de surface ainsi que les échantillons solides, en se limitant à la mesure des 9 « PFAS de l'OFEV », du moins dans les cas où l'historique du site ne permet pas de déduire l'utilisation d'autres PFAS (voir également le chapitre 5 à ce sujet).

Les PFAS étant produits par l'homme et donc d'origine anthropique, il ne s'agit pas non plus d'une pollution de fond géogène. **En raison de la présence de PFAS dans tous les échantillons de terre végétale, on parle, pour simplifier, de pollution de fond.**

La contamination ubiquitaire de la couche supérieure du sol est étayée par des investigations comparables dans d'autres pays européens, qui présentent partout une image très similaire. Même dans les

⁵ Basilius Thalmann et al. Substances alkyles per- et polyfluorées (PFAS) dans les sols suisses. Spektrum Altlasten 6/2022. <https://doi.org/10.21256/zhaw-26586>. L'étude a porté sur des sites issus de l'Observation nationale des sols (NABO), du Monitoring de la biodiversité (BDM) et de sites sélectionnés dans le canton du Valais.

forêts suédoises, loin de toute influence anthropique, on a trouvé des pollutions en PFAS similaires dans le sol.⁶



Les déterminations analytiques ont été effectuées dans un laboratoire non suisse et confirmées par en répétant les mesures sur une sélection d'échantillons dans un laboratoire suisse. Les transferts ou les contaminations croisées peuvent être exclus par des contrôles de plausibilité des résultats. Les résultats détaillés et d'autres informations sur l'étude PFAS du NABO ont été publiés dans la revue «Spektrum Altlasten 06/22 ».⁷

Déduction d'une valeur pour la pollution de fond dans la couche supérieure du sol

Dans la pratique, pour d'autres polluants présentant une pollution de fond d'origine géogène, il s'est avéré approprié de parler d'une véritable pollution à partir d'un dépassement de 3 à 10 fois du niveau de pollution de fond. Cela permet de faire une distinction claire. En appliquant une approche comparable pour la pollution de fond par les PFAS dans la couche supérieure du sol, on peut parler ici, en première approximation, d'une pollution manifeste du sol à partir d'une valeur totale de PFAS de 5 µg/kg dans la couche supérieure du sol (environ 3,5 fois plus élevée que la médiane de 1,4 µg/kg, près de 95% des valeurs mesurées < 5 µg/kg).

Conclusion

Pour faire la distinction avec la pollution ubiquitaire en PFAS, il est stipulé une valeur de 5 µg/kg pour les charges en PFAS dans la couche supérieure du sol (somme non pondérée au moins des 9 PFAS selon la note de l'OFEV en annexe 1 [PFBA, PFPeA, PFHpA, PFHxA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS]).

⁶ M. Söregård et al. (2022), Spatial distribution and load of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in background soils in Sweden, Chemosphere 295 (2022) 133944, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133944>

⁷ <https://doi.org/10.21256/zhaw-26586>

Importance de la pollution de fond dans la couche supérieure du sol pour la délimitation des sites dans le cadastre des sites pollués (CASIP)

En raison de la pollution de fond élevée en PFAS dans la couche supérieure du sol, il en résulte que seules les zones présentant un niveau de pollution en PFAS supérieure à 5 µg/kg dans la couche supérieure du sol (Σ PFAS) doivent être considérées comme des sites pollués. Celles-ci peuvent avoir un impact sur les couches plus profondes ainsi que sur les biens à protéger que sont les eaux souterraines/de surface, justifiant ainsi une entrée dans le CASIP. La pollution de fond doit donc être utilisée ici pour la délimitation des sites.

La prise en compte des valeurs issues de la législation sur les sols (valeur indicative/seuil d'investigation/valeur d'assainissement selon l'OSol) est exclue ici, car ces valeurs ne sont pas encore fixées actuellement. Si seul le bien à protéger qu'est le sol est concerné pour un site, seule la zone où la valeur d'assainissement est dépassée selon l'article 12, alinéa 1 OSites en relation avec l'annexe 3 OSites est déterminante du point de vue du droit des sites pollués.

Une inscription dans le CASIP de la couche supérieure du sol en cas de dépassement de la pollution de fond (somme de tous les PFAS supérieure à 5 µg/kg) est néanmoins justifiée car, selon les premières expériences, de telles pollutions du sol peuvent déjà avoir des effets négatifs sur les biens à protéger que sont les eaux souterraines et les eaux de surface (par déplacement, lessivage, etc.). Cela doit être vérifié dans le cadre de l'investigation technique.

Importance de la pollution du fond dans la couche supérieure du sol pour l'élimination

La valorisation des sols s'appuie sur l'OSol (RS 814.12). La couche supérieure et la couche sous-jacente du sol doivent être valorisées le plus complètement possible, notamment en fonction des valeurs indicatives et des seuils d'investigation. Or, ces valeurs ne sont pas encore fixées pour les PFAS. On s'attend donc à ce que les sols dont la teneur en PFAS est inférieure ou égale à 5 µg/kg (Σ PFAS) continuent d'être valorisés en priorité et en majorité, plutôt que d'être mis en décharge. Ceci d'autant plus que l'accumulation de grandes quantités de couches supérieures du sol contaminées par des PFAS dans des décharges sans étanchéité et sans mesures de drainage prescrites (décharges de type A et B) ne constitue pas non plus une alternative judicieuse. Pour de plus amples discussions à ce sujet, voir la partie III Aspects de la législation sur les déchets.

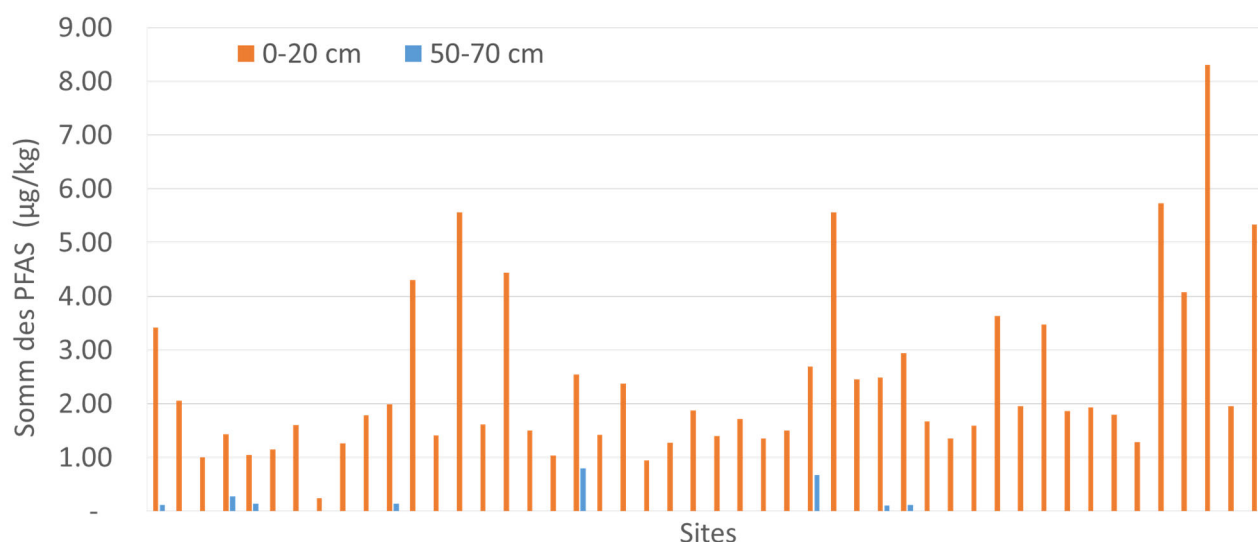
8. La pollution par les PFAS dans la couche sous-jacente du sol et le sous-sol

Les résultats de l'étude d'analyse des sols 2022 (voir chap. 7) soulèvent la question de savoir s'il existe également une pollution ubiquitaire dans la couche sous-jacente du sol ou dans le sous-sol minéral. C'est pourquoi l'OFEV a fait analyser dans un deuxième temps des échantillons de réserve prélevés à 50-70 cm de profondeur dans 47 des 145 sites NABO (ce qui correspond dans la plupart des cas à un horizon B, parfois aussi à un horizon C). Parmi ces 47 échantillons, on trouve aussi bien des échantillons avec une teneur en PFAS élevée que des échantillons avec une teneur moyenne à faible dans la couche supérieure du sol (horizon A). Tous les types d'utilisation (culture, prairie, forêt, cultures spéciales, urbain) sont représentés parmi les 47 échantillons. La représentativité est similaire à celle des 145 échantillons de l'horizon A.

La somme de 30 PFAS a également été déterminée. Les résultats suivants ont été obtenus :

- Les PFAS n'ont été détectés que dans 8 des 47 échantillons (seuil de quantification de 0,1 µg/kg).
- Il en résulte qu'aucun PFAS n'a été détecté dans 39 échantillons (83%) (Parmi eux, des sites dont la contamination de l'horizon A est supérieure à 5 µg/kg (ΣPFAS).
- Dans 6 échantillons, la valeur se situait entre 0,1 et 0,3 µg/kg.
- Une valeur d'environ 0,7 et 0,8 µg/kg a été trouvée dans 2 échantillons (< valeur médiane pour la couche supérieure du sol de 1,4 µg/kg).
- La majeure partie de la pollution mesurée est constituée principalement de PFOA et de PFOS, et dans certains cas de MeFOSA (méthyl-perfluorooctane-sulfonamide, y compris les dérivés).

Il n'y a donc une contamination par les PFAS dans l'horizon B que dans moins de 20% des échantillons avec une contamination de l'horizon A, et celle-ci se situe majoritairement dans une fourchette très basse, entre 0,5 µg/kg et le seuil de quantification de 0,1 µg/kg (ΣPFAS).



Conclusion

Dans l'horizon B, aucune pollution de fond par les PFAS (c'est-à-dire aucune pollution ubiquitaire par les PFAS) ne peut être détectée. On peut en déduire la même chose pour l'ensemble de l'horizon C (sous-sol minéral).

9. Les PFAS dans les eaux souterraines

En 2007 et 2008, une étude pilote de l'Observatoire national des eaux souterraines NAQUA avait déjà analysé et détecté pour la première fois la présence de PFAS dans certaines stations de mesure des eaux souterraines suisses. En 2021, NAQUA a également mené une étude pilote complète sur les PFAS, au cours de laquelle les quelque 550 stations de mesure NAQUA ont été échantillonnées et soumises à des investigations sur un total de 26 PFAS différents. Parmi eux, les 20 PFAS pour lesquels une valeur limite a été fixée dans l'UE dans l'eau potable ont été pris en compte. Le seuil de quantification analytique se situait entre 0,001 et 0,0005 µg/l.

Les résultats de la série complète de mesures NAQUA d'octobre 2023 montrent que

- des PFAS sont détectés dans les eaux souterraines dans environ la moitié des 550 stations de mesure NAQUA
- dans environ 8% des stations de mesure, la valeur totale pour les 26 PFAS est supérieure à 0,025 µg/l
- dans environ 2% des stations de mesure, la valeur totale pour les 26 PFAS est supérieure à 0,1 µg/l

À titre de comparaison, la valeur de concentration actuellement appliquée pour les PFAS selon l'ordonnance sur les sites contaminés est de 0,05 µg TEQ / l (50 ng TEQ/l, voir chap. 3). Les valeurs maximales de l'OPBD⁸ (0,3 µg/l pour le PFOS et le PFHxS et 0,5 µg/l pour le PFOA) pour l'eau potable, actuellement en vigueur mais obsolètes et nettement trop élevées selon l'état actuel des connaissances, sont dépassées dans l'une des stations de mesure NAQUA dans les eaux souterraines.

La campagne 2023 sur les PFAS dans l'eau potable de l'Association des chimistes cantonaux de Suisse a également confirmé la présence généralisée des PFAS dans les eaux souterraines. Les PFAS ont été mesurés dans environ la moitié des échantillons d'eau potable analysés.

De plus amples informations sur ces séries de mesures de 2007/2008 et 2023, les résultats et l'évaluation actuelle sont disponibles sur le site Internet de l'OFEV, sous le mot-clé Eaux souterraines.⁹

⁸ Ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD, RS 817.022.11)

⁹ PFAS dans les eaux souterraines (admin.ch)

II. Aspects de la législation sur les sites pollués

10. Arbres de décision pour l'inscription au CASIP

Afin d'aider les autorités d'exécution en ce qui concerne l'évaluation des soupçons de la présence de PFAS et les critères d'inscription au CASIP, des arbres de décision ont été créés pour différents secteurs et processus. Ceux-ci s'inspirent de l'ancienne aide à l'exécution de l'OFEV « Établissement du cadastre des sites pollués » et sont résumés dans un rapport « **Aides pour l'inscription au cadastre des sites pollués** » de Magma AG du 30 janvier 2023. Le rapport de Magma AG est joint en annexe 3.

Les principes les plus importants pour la gestion des sites pollués par des PFAS dans le CASIP sont présentés ci-dessous :

- En raison du peu d'expérience actuelle avec les différentes pollutions par les PFAS, les sites soupçonnés de contenir des PFAS doivent être classés dans le CASIP comme nécessitant une investigation.
- Pour la même raison, nous avons renoncé à fixer un seuil de minimisation comme critère de décision.
- Si la réponse à la question sur l'utilisation de produits contenant des PFAS dans les processus énumérés est « Inconnu », cela équivaut à un « Oui ».

Avec l'expérience, les principes énoncés ci-dessus peuvent être revus et, si les données le permettent, adaptés pour certains processus. Pour plus de détails, veuillez-vous référer au rapport susmentionné en annexe.

11. Délimitation des sites pollués par des PFAS dans le CASIP

Situation de départ spécifique aux PFAS

Pour les sites inscrits dans le CASIP, la pollution doit provenir de déchets et avoir une étendue limitée. Cela signifie que le site doit pouvoir être distingué d'une éventuelle pollution de fond dans le sous-sol ou d'une pollution diffuse de la couche supérieure du sol. Dans le cas des PFAS, il convient de noter qu'il n'y a pas de pollution de fond dans la couche sous-jacente/le sous-sol minéral (à partir de l'horizon B/C), mais qu'il faut généralement s'attendre à une pollution de fond par les PFAS dans la couche supérieure du sol (voir chapitres 7 et 8).

Cas particulier de la couche supérieure du sol : si seul le bien à protéger qu'est le sol est concerné (c'est-à-dire que les biens à protéger que sont les eaux souterraines, les eaux de surface et l'air ne sont pas présents), la délimitation d'un site dans le sol est effectuée à l'aide de la valeur de concentration de l'annexe 3 OSol (valeur d'assainissement selon l'OSol). Pour l'agriculture et l'horticulture (annexe 3, chiffre 1 OSites), cette valeur n'est pas encore fixée. Pour les surfaces sur lesquelles les enfants jouent régulièrement (annexe 3, chiffre 2 OSites), l'OFEV a accepté une valeur de 30 µg/kg.

Valeurs solides pour la délimitation des sites pour les sites pollués par des PFAS

La délimitation d'un site dans la couche supérieure du sol doit tenir compte de la pollution de fond ubiquitaire par les PFAS. Celle-ci peut atteindre des valeurs allant jusqu'à 5 µg/kg (Σ PFAS). Pour des teneurs supérieures à 5 µg/kg, il faut supposer un apport de PFAS dû à un processus, une installation ou un événement. Une telle pollution entraîne une inscription dans le CASIP : étant donné que la pollution de fond dans la couche supérieure du sol doit déjà être considérée comme plutôt élevée d'un point de vue toxicologique, il faut vérifier, en cas de dépassement, si un transfert de cette pollution a pu avoir lieu en profondeur (dans le sous-sol et dans les biens à protéger que sont les eaux souterraines ou les eaux de surface).

Selon les investigations menées jusqu'à présent, la couche sous-jacente du sol (horizon B) ainsi que le sous-sol minéral (voir chapitre 8) ne présentent aucune pollution de fond par les PFAS. Par définition, il en résulte que le seuil de quantification (0,1 µg/kg par substance individuelle PFAS) définit la valeur de matériau non pollué (valeur U). La valeur U doit donc également être utilisée comme valeur de délimitation d'un site dans le sous-sol non saturé.

Conséquence de la pollution de fond élevée dans la couche supérieure du sol

En raison de la situation particulière avec une pollution de fond par les PFAS exclusivement dans la couche supérieure du sol, il en résulte que des valeurs différentes doivent être appliquées pour la délimitation des sites dans la couche supérieure du sol (5 µg/kg, Σ PFAS) et dans la couche sous-jacente du sol / le sous-sol minéral non saturée (0,1 µg/kg par substance individuelle). Dans la mesure où une pollution est présente dans les deux zones, l'étendue totale du site pollué dans le CASIP est obtenue en combinant les deux étendues.

Importance de la zone en aval immédiat

La délimitation d'un site permet de déterminer la zone en aval immédiat, qui est importante pour la classification selon la législation sur les sites pollués. En règle générale, cela permet de bien évaluer le danger que représente le site pour les biens à protéger (eaux souterraines et/ou eaux de surface). Dans la pratique, il existe toutefois des cas (p. ex. pour les sites pollués par des HCC) où cette application permet de situer la zone en aval immédiat si loin de la source de la pollution qu'il n'y a plus de besoin d'assainissement à la limite du site dans le bien à protéger, bien qu'il existe globalement un potentiel de pollution très élevé avec un risque environnemental correspondant. D'après les premières expériences, ce risque de sous-estimation lors de l'évaluation doit également être considéré comme réaliste pour les sites pollués par des PFAS. En raison de la haute toxicité des PFAS, une telle situation doit absolument être évitée.

Analyse de la situation actuelle

Un examen de cas récents de pollution par des PFAS dans différents cantons a montré l'absence de différence significative entre la délimitation d'un site dans le sous-sol avec la valeur U ou une valeur plus élevée (par exemple 1 ou 2 µg/kg). Selon les premières expériences, le gradient de pollution horizontal diminue rapidement, surtout en cas d'apports ponctuels de PFAS.

Dans la pratique, des divergences sont toutefois apparues. Celles-ci sont examinées ci-dessous à l'aide de deux exemples pratiques :

Exemple pratique 1 : grande extension du site, mais pas de source de pollution réelle

On connaît actuellement quelques cas où l'application de la valeur U dans le sous-sol entraîne une très grande extension du site, mais où aucune source de pollution proprement dite n'existe ou n'a pu être trouvée jusqu'à présent. Dans de tels **cas spécifiques**, il doit être possible de s'écarter des règles générales de définition de la zone d'« aval immédiat ». La question de savoir si et comment cela est possible dépend fortement de l'état des connaissances sur la situation locale et de la plausibilité des sources potentielles de pollution. Dans de tels cas, il convient de vérifier s'il existe un site inscrit au CASIP (sans source de pollution ou sans lien physique avec un autre site).

Exemple pratique 2 : source de pollution clairement identifiée, mais grande extension du site en raison du critère de la valeur U ou d'une pollution de fond étendue (plus fréquent que l'exemple pratique 1).

Des cas déjà fréquents sont ceux où un foyer de pollution par les PFAS pertinent a été localisé, mais où la valeur U est encore dépassée dans le sous-sol à une très grande distance de ce foyer ou où la pollution > 5 µg/kg (ΣPFAS) dans la couche supérieure du sol a une grande étendue. Il en résulte que la zone en aval immédiat est si éloignée du foyer de pollution pertinent qu'il n'y a pas de besoin d'assainissement. Dans ce cas, dissocier le point de mesure de l'aval immédiat de la délimitation du site peut constituer une solution pragmatique. L'emplacement du point de mesure dépend du **cas spécifique**. Il ne doit cependant pas se trouver dans des zones de pollution qui peuvent être attribuées au hotspot. Une valeur **maximale de 2,5 µg/kg (ΣPFAS)** est recommandée (voir également la visualisation ci-dessous).

Résumé

- La valeur pour la délimitation d'un site dans la couche supérieure du sol résulte de la pollution de fond en PFAS dans la couche supérieure du sol et est donc de 5 µg/kg (ΣPFAS). Cas particulier : si seul le bien à protéger qu'est le sol est concerné, la délimitation du site est réalisée à partir de la valeur d'assainissement selon l'annexe 3 OSites.
- Par analogie avec d'autres polluants, la valeur U (0,1 µg/kg par substance individuelle) s'applique aux PFAS comme valeur de délimitation d'un site dans le sous-sol (dans la zone non saturée).
- Si les deux zones sont concernées par une pollution par des PFAS, la délimitation totale du site, et donc l'inscription au cadastre, résulte de la combinaison des deux étendues de pollution.
- Il en résulte la zone en aval immédiat avec le point de mesure pour le classement au titre de la législation sur les sites pollués, qui se trouve juste à l'extérieur de la limite du site.
- Dans le cas particulier d'un foyer de pollution par des PFAS entouré de zones faiblement polluées et d'une grande étendue, le point de mesure peut être placé plus près du foyer de pollution. L'emplacement du point de mesure doit être déterminé et justifié au cas par cas en fonction de la situation. Il dépend de la diminution de la pollution avec l'éloignement de la source, mais ne doit pas être située dans des zones du sous-sol présentant une pollution par les PFAS > 2,5 µg/kg (ΣPFAS).
- Si, malgré une grande étendue du site, aucun véritable foyer de pollution n'est présent et que les investigations sont jugées plausibles et suffisantes, une valeur de délimitation spécifique au site peut être fixée au cas par cas et justifiée. Il faut toutefois qu'il s'agisse d'un site pollué au sens de la législation sur les sites pollués.

Pour illustrer la délimitation d'un site selon l'observation ci-dessus :

« Cas normal »

La limite du site est déterminée à partir de la combinaison de :

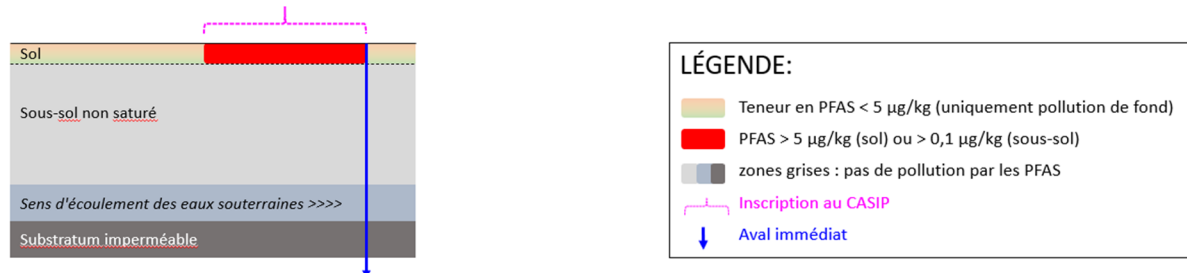
- I. Périmètre de pollution dans le **sous-sol non saturé**. Limite = 0,1 µg/kg par substance individuelle (valeur U)
- II. Périmètre de pollution dans le **sol**. Limite = 5 µg/kg (Somme des PFAS mesurés)

La zone en aval immédiat coïncide avec la limite du site.

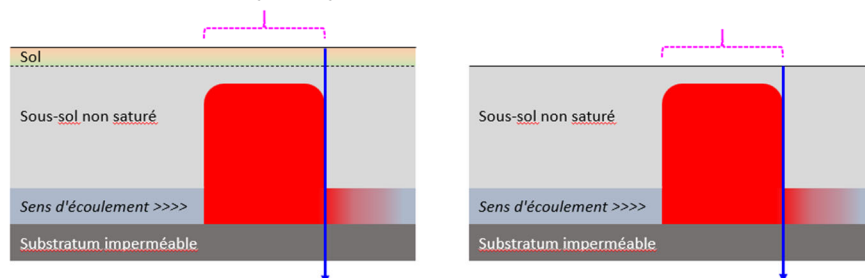
*Remarque : la pollution dans le sous-sol **saturé** ne peut pas être utilisée comme critère de délimitation du site pour le moment, car les processus de transport ne sont pas encore suffisamment clarifiés à l'heure actuelle.*

Remarque : les premières expériences à l'étranger montrent que les PFAS peuvent se propager dans les eaux d'extinction infiltrées dans la zone limite entre la zone non saturée et la zone saturée, mais on connaît déjà quelques cas où des PFAS ont été mesurés dans des zones plus profondes de la zone saturée.

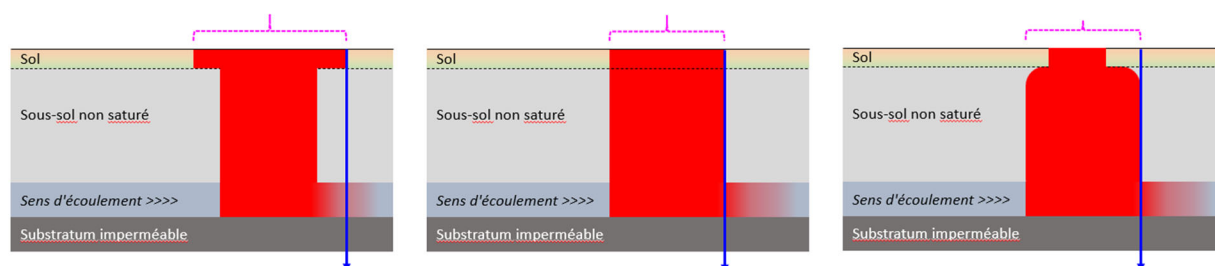
Sites dont seul le sol est pollué par des PFAS :



Sites dont seul le sous-sol est pollué par des PFAS :



Sites où le sol et le sous-sol sont tous deux pollués par des PFAS :



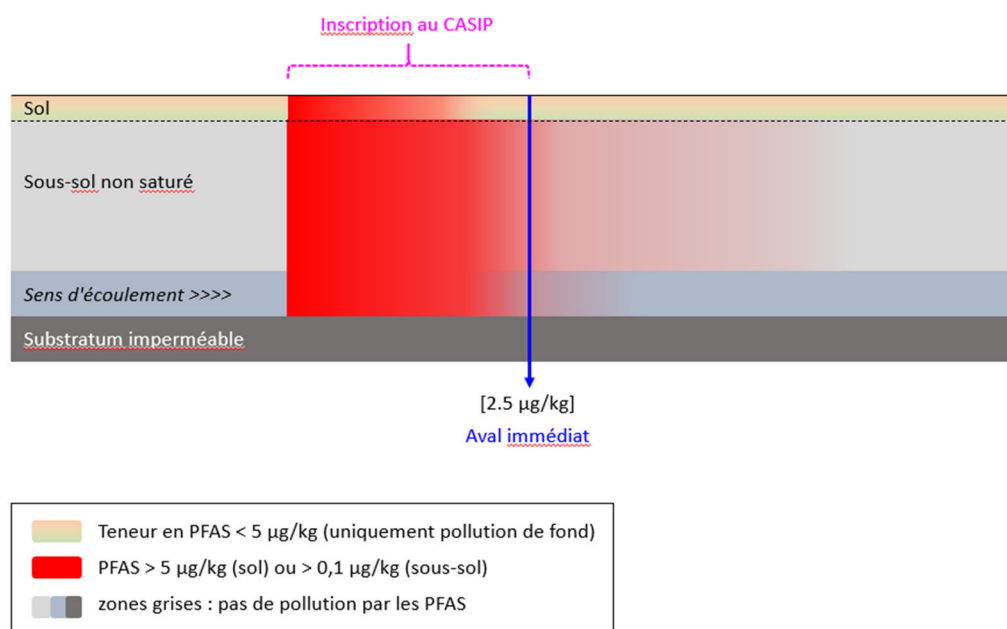
« Cas particuliers » Sites pour lesquels il existe un risque que la zone en aval immédiat pour la classification au titre de la législation sur les sites pollués soit (trop) éloignée du hotspot (voir exemple pratique 2).

Cas particulier 1 :

- Sites pour lesquels, en plus d'un hotspot, on trouve d'autres pollutions relativement faibles dans le sous-sol non saturé. Cette pollution supplémentaire peut être due à des apports provenant de l'utilisation du sol ou à des processus de transport horizontaux en dehors du hotspot (par exemple, transport par le vent, éventuellement aussi déplacement de matériaux lors de projets de construction).

Pour définir le point de mesure de la zone en aval proche du site, une valeur supérieure à 0,1 µg/kg peut être choisie ici dans le sous-sol non saturé.

Règle générale : le point de mesure de l'aval direct est défini à l'endroit où la diminution de concentration est la plus forte (= fin de la zone du hotspot). La valeur de délimitation doit être **au maximum de 2,5 µg/kg** (Σ PFAS). Les pollutions plus importantes dans le sous-sol sont toujours considérées comme faisant partie du site pollué.

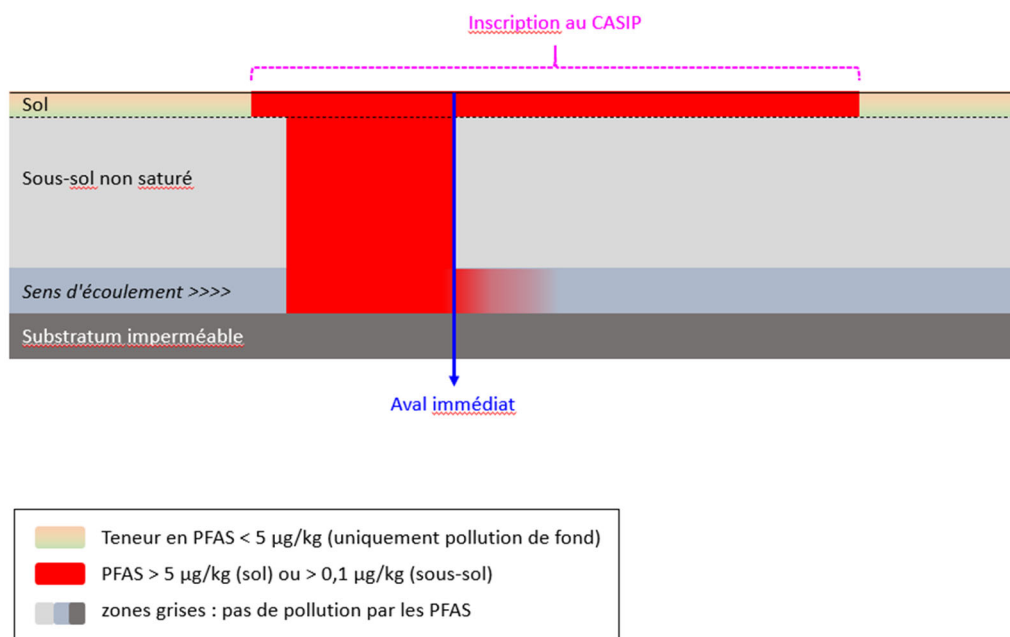


Cas particulier 2 :

- Sites pour lesquels le niveau de pollution >5 µg/kg (Σ PFAS) dans la couche supérieure du sol s'étend bien au-delà du hotspot dans le sous-sol. La cause de cette contamination étendue du sol peut être, par exemple, le transport par le vent de mousse d'extinction d'incendie sur des terrains d'entraînement au feu.

La délimitation des sites pour l'inscription au CASIP reste basée sur le périmètre de pollution dans le sol, avec une limite = 5 µg/kg (Σ PFAS).

En revanche, l'aval immédiat est défini comme la fin de la zone du « hotspot » dans le sous-sol non saturé, c'est-à-dire là où la diminution de la concentration est la plus forte. Cela doit être déterminé au cas par cas, en tenant compte de la situation locale. La valeur de délimitation doit être de **2,5 µg/kg** (Σ PFAS) **au maximum** (voir cas particulier 1). Des critères plus précis ne peuvent pas encore être définis à ce sujet en raison du manque d'expérience.



12. Priorisation des investigations sur les sites suspectés de contenir des PFAS

Les arbres de décision figurant dans le document « Aides pour l'inscription au cadastre des sites pollués » de Magma AG (voir annexe 3) doivent aider les autorités des sites pollués à décider si des sites doivent être inscrits au CASIP en ce qui concerne une éventuelle pollution par les PFAS. Outre quelques nouveaux sites du CASIP, plusieurs sites existants dans le CASIP sont soupçonnés de contenir des PFAS, indépendamment de leur statut actuel de classification. Cela peut conduire à une révision du CASIP qui demande beaucoup de travail, car une suspicion de la présence de PFAS sans connaissance détaillée de leur utilisation, etc. entraîne un besoin d'investigation.

Les catégories suivantes de sites pollués par des PFAS peuvent ainsi figurer dans le CASIP :

- Nouveaux sites sur la base d'une suspicion de la présence de PFAS
- Des sites jusqu'ici classés comme ne nécessitant pas d'investigation (sites sans atteintes nuisibles ou incommodantes, classification selon l'art. 5 OSites) en nécessitent désormais une en raison d'une suspicion de la présence PFAS.
- Suspicion supplémentaire de la présence de PFAS sur les sites nécessitant actuellement des investigations
- Suspicion « à posteriori » de la présence PFAS sur des sites déjà investigués et classés selon l'art. 8 OSites

concernant le point a) :

À l'heure actuelle, il n'est pas possible d'estimer le nombre de nouveaux sites qui apparaîtront (par exemple, les terrains d'exercice anti-incendie des municipalités ou autres).

concernant le point c) :

Pour les sites nécessitant actuellement des investigations, la suspicion d'une présence de PFAS peut être intégrée dans les investigations prévues ou à venir en matière de sites pollués.

concernant les points b) et d) :

Il faut s'attendre ici à ce qu'un grand nombre de sites actuellement inscrits dans le CASIP sans besoin

de surveillance ou d'assainissement soient soupçonnés ultérieurement d'être pollués par des PFAS et nécessitent donc une investigation. Il peut s'agir de sites classés selon l'art. 5 OSites ou de sites déjà investigués et classés selon l'art. 8 OSites.

En principe, c'est à l'autorité cantonale compétente de décider dans quel ordre ou avec quelle priorité l'investigation des quatre catégories susmentionnées doit être abordée. **La proposition d'un ordre de priorité possible ci-dessous peut servir de support aux autorités d'exécution cantonales.**

- 1. Terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies des entreprises (sapeurs-pompiers d'usine) et centres de formation des sapeurs-pompiers (dont nouveaux sites)**
- 2. Aires d'exploitations, lieux d'accident (y compris les incendies) et décharges nécessitant une investigation (= traitement dans le cadre de la mise en œuvre actuelle) *.**
- 3. Terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies des Communes (dont nouveaux sites) ***
- 4. Sites ne nécessitant pas d'investigation à ce jour (classification selon l'art. 5 OSites) et sites déjà investigués ou assainis (classification selon l'art. 8 OSites) */****

***Priorisation supplémentaire en tenant compte des biens à protéger (estimation de la mise en danger, utilisation des surfaces, des eaux, etc.)**

****Utiliser de préférence les points d'échantillonnage déjà existants**

Concernant le point 1 :

L'expérience montre que les terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies et les centres de formation des sapeurs-pompiers peuvent présenter un potentiel de pollution très élevé.

Concernant le point 2 :

Pour ces sites, les inscriptions au CASIP nécessitant actuellement une investigation ou les cahiers des charges déjà disponibles doivent être complétés par la suspicion d'une présence de PFAS conformément aux arbres de décision. La priorisation actuelle par l'autorité cantonale peut alors en règle générale être maintenue. Il est en outre recommandé de tenir compte d'une éventuelle influence sur la chaîne alimentaire et donc sur le bien à protéger qu'est l'homme (situation locale en ce qui concerne l'eau potable, les eaux, les poissons, etc.) La priorité du besoin d'investigation peut ainsi être augmentée au cas par cas (voir remarque concernant *).

Concernant le point 3 :

Les terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies des communes changent souvent d'emplacement et sont en outre moins utilisés que les terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies des entreprises. Toutefois, dans la mesure où l'on dispose d'informations sur un potentiel de pollution plus élevé, il convient de les inclure dans une priorité plus élevée.

Concernant le point 4 :

Il est recommandé de concentrer dans un premier temps les ressources disponibles sur les sites des catégories de priorité 1, 2 et 3 susmentionnées. Ces travaux permettront ensuite de tirer des enseignements essentiels sur les différents secteurs et processus, afin de déterminer si les sites de priorité 4 doivent faire l'objet d'une investigation pour les PFAS et, dans l'affirmative, lesquels.

Toutefois, 3 exceptions peuvent être formulées :

- a) Il est d'ores et déjà connu, sur la base des connaissances disponibles, que les activités menées sur le site ont pu conduire à un apport important de PFAS. Il convient alors de l'inclure dans une catégorie de priorité plus élevée.

- b) Il existe un risque accru pour l'homme en raison de la situation du site (surtout via la chaîne alimentaire, p. ex. situation au bord d'un cours d'eau poissonneux, culture agricole intensive, etc.) Dans ce cas, il convient d'envisager une inscription dans une catégorie de priorité plus élevée (voir remarque concernant *).
- c) S'il existe encore des points de mesure des eaux souterraines en état de fonctionnement, il est possible de vérifier à un coût relativement faible s'il existe une pollution par les PFAS pertinente pour le bien à protéger que sont les eaux souterraines. De tels sites inscrits au CASIP peuvent donc contribuer assez facilement à l'acquisition d'expérience (voir la remarque concernant **).

13. Stratégie d'investigation dans le cadre de l'investigation technique

Les recommandations suivantes concernent les sites où la présence de PFAS est suspectée ou avérée et qui en sont au stade de l'investigation préalable. Elles se concentrent sur l'importance des échantillons d'eaux souterraines ou d'eaux de surface par rapport aux échantillons solides, ainsi que sur les critères possibles pour renoncer à un échantillonnage.

Le principe de base est le suivant : étant donné que l'on manque encore d'expérience sur la propagation et les atteintes des PFAS sur les biens à protéger, les investigations portant sur les biens à protéger éventuellement concernés sont très importantes. Les premières expériences indiquent par exemple que même des teneurs en PFAS moins importantes dans le sous-sol (par exemple de l'ordre de 1 µg/kg) peuvent entraîner un risque important pour les eaux souterraines ou les eaux de surface. C'est pourquoi il ne faut renoncer qu'exceptionnellement à l'échantillonnage de ces deux biens à protéger, dans la mesure où ils pourraient être concernés.

Une pollution des matières solides profonde n'est pas en soi un critère suffisant pour ne pas échantillonner les eaux souterraines/de surface. Cependant, avec une justification hydrogéologique, l'absence d'échantillonnage des eaux souterraines peut être discutée au cas par cas. Pour cela, différents aspects doivent être pris en compte, comme la représentativité des échantillons souterrains, l'importance du bien à protéger, la probabilité d'utilisation de PFAS, etc. Une éventuelle renonciation doit être dûment justifiée en conséquence.

En revanche, pour les sites où l'utilisation de PFAS **est fortement suspectée** - par exemple les terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies - ou pour lesquels **l'utilisation** de produits contenant des PFAS **est avérée** : les biens à protéger menacés (eaux souterraines, eaux de surface, sol) doivent **toujours** être investigués, même si les premiers échantillons solides n'ont pas révélé la présence de PFAS.

Si aucune pollution par les PFAS n'est détectée dans le sous-sol malgré une suspicion initiale (< valeur U, c'est-à-dire < seuil de quantification), mais qu'un échantillonnage des eaux souterraines et/ou de surface est effectué en raison d'autres polluants, il est recommandé d'inclure les PFAS dans le programme d'analyse. Cela permet de recueillir des informations supplémentaires avec relativement peu d'efforts ou de frais et donne au propriétaire du site une sécurité supplémentaire.

Outre la plausibilité des échantillons solides (représentativité pour le site), il est également important de **vérifier la plausibilité des résultats de mesure des échantillons d'eau souterraine dans la zone en aval immédiat** : en cas de pollution inférieure à la valeur entraînant une nécessité d'agir au titre de la législation sur les sites pollués (par exemple < 10% de la valeur de concentration OSites dans le secteur de protection des eaux A₀), mais supérieure au seuil de quantification de 1 ng/l par subs-

tance individuelle, il convient de vérifier les points suivants : dispose-t-on de connaissances suffisantes sur la pollution des matières solides du site ? La source de pollution est-elle suffisamment connue ? Existe-t-il éventuellement dans les eaux souterraines d'autres pollutions ou des pollutions par des PFAS déjà en amont ? Tant que ces **connaissances sur la situation du site** ne sont pas suffisantes, **il n'y a pas lieu, en l'état actuel des connaissances**, de supprimer l'inscription au CASIP en cas de teneurs en PFAS dans les eaux souterraines supérieures au seuil de quantification, même si le critère de nécessité d'agir au titre de la législation sur les sites pollués n'est pas atteint.

Si des teneurs supérieures à la pollution de fond (c'est-à-dire $> 5 \mu\text{g/kg}$ (ΣPFAS)) sont présentes dans la couche supérieure du sol, il convient de vérifier dans ces zones si une migration verticale a eu lieu (échantillons de sous-sol B-/C-horizon, le cas échéant jusqu'à la zone saturée).

En raison de la pollution de fond élevée dans la couche supérieure du sol ainsi que de la faible valeur U, il existe un risque accru d'entraînement lors des travaux de sondage (par ex. fentes de pelleuse). Une mauvaise interprétation est donc rapidement possible.

Les premières expériences (surtout dans les zones urbaines) montrent qu'en cas de détection de PFAS dans les eaux souterraines de la zone en aval, il est très important d'échantillonner la zone en amont.

Des investigations sur les lixiviats selon l'OSites peuvent également servir d'aide à l'évaluation en cas de pollution très faible des matières solides (proche de la valeur U). Celles-ci doivent cependant être considérées comme complémentaires et ne doivent pas remplacer les valeurs limites des matières solides.

Conclusion

Sur la base des discussions susmentionnées, les recommandations suivantes sont formulées pour l'investigation des sites pollués par des PFAS (dans le cadre de l'investigation technique) :

- **Pour les sites où la présence de PFAS est fortement suspectée (c'est-à-dire utilisation avérée de produits contenant des PFAS, terrains d'entraînement à la lutte contre les incendies, etc.), les biens à protéger éventuellement concernés doivent toujours faire l'objet d'une investigation sur la présence de PFAS, indépendamment des résultats sur les solides (c'est-à-dire même si leur teneur en PFAS est $<$ à la valeur U).**
- **Pour tous les autres sites (indépendamment d'une suspicion de la présence de PFAS), s'il existe une pollution par les PFAS dans le sous-sol $>$ valeur U, les biens à protéger potentiellement concernés doivent toujours faire l'objet d'une investigation sur la présence de PFAS.**
- **Si aucune mesure de PFAS n'est supérieure au seuil de quantification dans le sous-sol du site pollué ($<$ valeur U), une évaluation au cas par cas doit permettre de déterminer s'il est possible de renoncer à un échantillonnage des biens à protéger. Celle-ci doit être effectuée en tenant compte de l'importance du bien à protéger, de la représentativité des échantillons de sous-sol, de l'évaluation hydrogéologique, etc.**
Dans la mesure où le bien à protéger est échantillonné pour d'autres polluants : Il est recommandé d'inclure les PFAS dans le programme d'analyse (gain de connaissances et sécurité pour le propriétaire du site).

- Lors de l'évaluation des résultats, il convient en outre de tenir compte d'une éventuelle pollution dans la zone en amont, de dépassements éventuels de la pollution de fond dans la couche supérieure du sol et d'un éventuel entraînement lors des sondages.

14. Critères de suppression du CASIP

Pour la suppression d'un site pollué par des PFAS du CASIP, les exigences habituelles s'appliquent comme pour tous les autres polluants : aucune pollution provenant de déchets sur le site d'une part, et aucune nécessité d'agir au titre de la législation sur les sites pollués pour les biens à protéger existants d'autre part.

Ainsi, la suppression du CASIP a lieu en cas de

- Concentration mesurée inférieure à la valeur U dans le sous-sol non saturé (c.-à-d. valeur U = 0,1 µg/kg (correspond au seuil de quantification par substance individuelle PFAS)
et
- Concentration en PFAS dans la couche supérieure du sol inférieure à 5 µg/kg (pollution de fond maximale, somme de tous les PFAS mesurés)
et
- Pas de PFAS détectés dans les eaux souterraines ou pas de différence entre l'amont et l'aval. Si des PFAS dépassant le seuil de quantification (1 ng/l par substance) sont mesurés dans les eaux souterraines, mais que les exigences relatives à la nécessité d'agir en vertu de la législation sur les sites pollués ne sont pas remplies, une étude de plausibilité complète est nécessaire pour pouvoir supprimer le site du CASIP. Cela signifie qu'une éventuelle autre pollution des eaux souterraines doit être clarifiée. En outre, les critères de suppression définis pour le sous-sol et le sol doivent être suffisamment démontrés. Cela doit permettre d'exclure toute pollution par les PFAS qui n'aurait pas été détectée.

Les deux premières exigences s'appliquent à l'ensemble du site, même si le point de mesure déterminant pour la classification du site a été placé plus près de la source de pollution (voir cas particulier 2 au chapitre 11). Ce point de mesure ne sert qu'à l'évaluation du site selon l'OSites et non à la suppression du CASIP.

15. Urgence des mesures d'assainissement

Conformément aux articles 14 et 15 OSites, l'urgence des mesures d'assainissement dépend en premier lieu de la mise en danger des biens à protéger. Elle doit donc être déterminée et évaluée en fonction du bien à protéger. Aucune procédure spécifique aux PFAS n'est requise. Il faut cependant tenir compte des propriétés des PFAS (persistance et haute toxicité) et de l'expérience acquise jusqu'à présent en matière de propagation de ces substances.

Il n'est pas possible pour l'instant de fournir une aide éventuelle pour l'évaluation de valeurs telles que la charge ou l'ampleur du dépassement de la valeur de concentration, entre autres, car on ne dispose pas encore d'une expérience suffisante. Comme pour tous les autres polluants, selon l'aide

à l'exécution « Besoin, buts et urgence de l'assainissement »¹⁰, l'ampleur des atteintes et le moment de leur survenue sont en principe déterminants pour l'évaluation de l'urgence. Il faut notamment tenir compte de : l'étendue de la pollution, la pollution de fond dans les eaux souterraines/de surface, les conditions hydrogéologiques, le risque de propagation/d'entraînement, les effets sur la chaîne alimentaire, etc.

16. Assainissement - méthodes et mesures

Dans le rapport d'experts d'Arcadis « Bases de décision pour le traitement des sites pollués par des PFAS en Suisse » de juillet 2021 contient une compilation et une évaluation des études expérimentales et des méthodes d'assainissement des sites pollués par des PFAS connues à ce jour. Selon le rapport d'experts, la situation en 2021 était telle que l'on ne disposait pas encore d'une expérience suffisante en matière d'assainissement des PFAS dans la pratique pour pouvoir tirer des conclusions claires sur la faisabilité et l'efficacité des différentes méthodes.

Dans le cadre du projet « PFAS dans le domaine des sites pollués et des déchets », l'OFEV a effectué une nouvelle recherche bibliographique approfondie au printemps 2023. Il s'agissait de déterminer si, depuis le rapport Arcadis 2021, de nouvelles connaissances étaient disponibles en Suisse, mais aussi à l'étranger, et pouvaient conduire à de premières recommandations.

L'annexe 4 du présent rapport contient le résumé de cette recherche documentaire. Les résultats détaillés sont compilés dans des feuilles de calcul Excel qui peuvent être obtenues sur demande auprès de l'OFEV.

On peut constater qu'il n'y a toujours guère d'assainissements qui peuvent être considérés comme achevés ou réussis dans la pratique. Certes, plusieurs études pilotes ou essais à grande échelle ont été réalisés, mais ils ne sont pas encore terminés ou ne peuvent pas (pour l'instant) être évalués comme réussis. De nombreuses méthodes d'assainissement des sites contaminés par des PFAS n'ont été appliquées jusqu'à présent qu'en laboratoire sur des échantillons synthétiques (sol ou eau dopés aux PFAS) ou sur des échantillons réels de faible volume (essais en colonne). Dans presque tous les cas, ces méthodes n'ont pas encore été appliquées sur un site à proprement dit.

Les méthodes les plus prometteuses pour les matériaux d'excavation pollués sont actuellement le lavage des sols et le traitement thermique. Ces deux méthodes de traitement font actuellement l'objet d'essais en Suisse (voir chapitres 23 et 24). En revanche, l'immobilisation est actuellement considérée comme incertaine à long terme.

Pour le traitement des eaux souterraines ou des eaux usées, les investigations portent principalement sur l'efficacité du charbon actif, des résines échangeuses d'ions ou de l'osmose inverse. Selon les premières constatations, l'efficacité de l'élimination est plus élevée pour les PFAS à chaîne longue que pour ceux à chaîne courte. Les solutions pratiques les plus probables consistent à combiner différents traitements (par exemple, des étapes de traitement en série).

¹⁰ <https://www.bafu.admin.ch/uv-1828-f>

Conclusion

Étant donné que l'on ne dispose pas encore, en Suisse et au niveau international, d'une grande expérience sur l'efficacité, la proportionnalité et la durabilité des différentes mesures d'assainissement, il n'est pas possible de formuler une recommandation définitive à l'heure actuelle. Jusqu'à présent, le lavage des sols et le traitement thermique, deux mesures hors site, sont considérés comme des approches prometteuses. L'annexe 4 « Synthèse : Assainissement des sites contaminés par des PFAS » donne un aperçu de l'état actuel des connaissances. La compilation détaillée de la recherche bibliographique (Excel) peut être obtenue sur demande auprès de l'OFEV.

17. Confinement comme mesure d'assainissement

Le confinement est souvent considéré comme une mesure moins coûteuse ou plus proportionnée par rapport à d'autres méthodes d'assainissement telles que l'excavation, etc. Une mesure de réduction de la mobilité peut être, par exemple, l'imperméabilisation ou l'immobilisation. Le critère essentiel à cet égard est la durabilité : un confinement ne peut être considéré comme durable que si le besoin d'assainissement n'existe plus, même après la disparition des mesures techniques de confinement, en raison du vieillissement de ces dernières au-delà de 1 à 2 générations. Cela est généralement dû à une dégradation naturelle ou à une lente érosion. L'effet à long terme est également important pour les immobilisations (cas particulier d'un confinement).

Cependant, ces exigences ne sont pas encore suffisamment évaluables ou démontrables pour les PFAS. L'immobilisation ne peut donc pas être considérée comme une méthode d'assainissement durable. De même, on ne peut s'attendre à une lixiviation notable que pour les PFAS à chaîne courte.

➔ C'est pourquoi, en cas de pollution par des PFAS, le confinement ne peut être que temporaire et ne constitue donc pas une mesure d'assainissement à part entière.

Un confinement peut toutefois s'avérer utile en tant que mesure urgente pour éviter un impact significatif sur un bien à protéger, par exemple lorsqu'une excavation est prévue à moyen terme. Même si aucune autre mesure ne semble actuellement efficace, il convient d'examiner au cas par cas si un confinement constitue une solution intermédiaire judicieuse avec un horizon temporel prévisible. Même en tant que mesure urgente, il convient d'examiner les aspects habituels (atteinte/danger, urgence, coûts, pollution de fond, conséquences d'un changement d'état, etc.).

Comme l'état de la technique en matière de traitement/élimination des déchets va probablement évoluer considérablement au cours des prochaines années, les dépôts temporaires ou les mono-décharges sont des solutions intermédiaires à moyen terme. Il faut cependant garder à l'esprit qu'à terme, ces solutions entraîneront des problèmes de capacité et que le problème de l'élimination ne sera que repoussé dans le temps. C'est pourquoi, en fonction de l'urgence de l'assainissement, il peut être préférable d'attendre avant de prendre des mesures d'assainissement.

18. Critères possibles d'interruption de l'assainissement

*Remarque : si, **après** des mesures d'assainissement déjà mises en œuvre, mais qui n'ont pas été suffisamment efficaces, on renonce temporairement, c'est-à-dire dans un premier temps, à d'autres mesures d'assainissement, on parle d'une « interruption de l'assainissement ». En revanche, un ajournement des mesures d'assainissement (« report de l'assainissement ») **avant** la mise en œuvre des premières mesures d'assainissement doit être évalué par le biais de l'urgence selon l'art. 15 OSites et est généralement lié à des exigences supplémentaires (p. ex. examen périodique des mesures d'assainissement possibles). Un report de l'assainissement correspond donc à la procédure habituelle de gestion des sites pollués et ne fait pas l'objet des discussions qui suivent.*

En raison de leurs propriétés, les PFAS posent des exigences élevées pour un assainissement réussi. Le problème de l'impossibilité d'atteindre les objectifs d'assainissement selon l'OSites avec des moyens proportionnés est également connu pour d'autres polluants comme les HCC et a été discuté en détail dans le cadre du projet ChloroNet (voir l'aide à l'exécution de l'OFEV « Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés »¹¹). Conformément à l'art. 15 OSites, il convient alors d'envisager une adaptation du but de l'assainissement. Dans certains cas, l'interruption de l'assainissement peut être une solution : le site doit certes être classé comme nécessitant un assainissement - malgré les mesures d'assainissement déjà réalisées - en raison de la mise en danger des biens à protéger, mais aucune autre mesure ne sera prise dans un premier temps. À cet effet, 19 critères ont été établis spécialement pour les sites pollués par des HCC, qui peuvent être utilisés pour l'évaluation d'une interruption de l'assainissement. Les exigences relatives à cette procédure et les 19 critères, qui ont déjà fait leurs preuves dans la pratique, sont décrits dans l'aide à l'exécution de l'OFEV « Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés » mentionnée ci-dessus.

Pour la pollution par les PFAS également, **certains des 19 critères offrent une bonne aide** pour évaluer la proportionnalité de mesures d'assainissement supplémentaires (p. ex. importance du bien à protéger du point de vue de son utilité, réussite de l'assainissement jusqu'à présent, mesures de construction). Pour d'autres des 19 critères, l'évaluation nécessite toutefois des valeurs concrètes qui ne peuvent pas encore être déduites pour les PFAS (p. ex. quand un potentiel de pollution ou une charge sont-ils élevés/faibles ?).

Conclusion

Pour évaluer une interruption de l'assainissement de sites pollués par des PFAS, la liste des critères HCC peut actuellement être considérée comme une aide au sens d'une liste de contrôle, afin de ne pas oublier d'aspects essentiels. Une adaptation de certains critères aux PFAS sera effectuée ultérieurement si les données disponibles sont suffisantes.

19. Projets de construction sur des sites pollués par des PFAS

Les projets de construction nécessitent souvent un délai d'exécution plus long, principalement pour des raisons économiques. L'exigence la plus importante est le respect de l'article 3 OSites, qui stipule qu'un projet de construction n'entrave pas de manière considérable l'assainissement ultérieur du site. Dans le cas des PFAS, cela peut entraîner une augmentation considérable des travaux et des coûts

¹¹ <https://www.bafu.admin.ch/uv-1833-f>

correspondants. Les projets de construction sur des sites pollués par des PFAS doivent donc être considérés comme exigeants.

Comme pour d'autres polluants, des exigences spéciales peuvent être imposées pour l'obtention d'un permis de construire (par exemple des valeurs cibles, des mesures d'accompagnement, etc.) Ces exigences doivent cependant être formulées au cas par cas, en fonction du site.

Conclusion

En l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de procédure particulière à suivre pour les sites pollués par des PFAS dans le cadre de projets de construction. L'exigence principale reste le respect de l'article 3 OSites.

III. Aspects de la législation sur les déchets

Les chapitres suivants sont organisés **autour des thèmes** suivants :

- **Situation de la pollution par les PFAS**
- **Traitement**
- **Valorisation**
- **Mise en décharge**

Situation de la pollution par les PFAS

20. Situation de départ en matière de gestion des déchets

Dans le domaine de la législation sur les déchets, la gestion des déchets contenant des PFAS concerne non seulement le producteur initial de déchets ou le propriétaire du site, mais aussi d'autres acteurs tels que les entreprises de gestion des déchets ou les exploitants d'installations de traitement des déchets, etc. Les solutions d'élimination doivent être respectueuses de l'environnement, techniquement réalisables et économiquement viables. Compte tenu de la persistance des PFAS, leur degré d'élimination et, dans le cas d'une mise en décharge, l'entretien nécessaire à long terme doivent être pris en compte de manière décisive.

La situation de départ est la suivante :

- Il n'existe pas de valeurs indicatives et de seuils d'investigation pour les PFAS dans le domaine de la pollution des sols, ni de valeurs limites pour les PFAS dans le domaine des déchets au niveau des ordonnances.
- L'aperçu de la pollution par des PFAS dans les différents déchets est limité.
- Les PFAS sont pris en compte dans les investigations de manière très différente selon les cantons.
- La valeur de concentration de 50 ng TEQ/l déduite par l'OFEV conformément à l'annexe 1 OSites (voir chapitre 3) est pertinente en raison de l'approche basée sur les risques. Toutefois, les valeurs limites pour les matières solides déduites sur cette base seraient inférieures à la pollution de fond déjà présente dans les couches supérieures du sol en Suisse (voir chapitre 7).
- Le seuil de quantification robuste de 0,1 µg/kg pour les PFAS dans les matières solides n'est apparu que récemment. C'est pourquoi de nombreuses investigations ont jusqu'à présent utilisé un seuil de quantification élevé (1 µg/kg ou plus) ou le lixiviat pour l'évaluation de l'élimination.
- Il existe une pollution de fond par les PFAS dans la couche supérieure du sol ; aucune couche supérieure du sol n'est exempte de PFAS. Cela peut avoir des conséquences pour la valorisation des sols, mais celles-ci ne seront claires que lorsqu'une valeur indicative et un seuil d'investigation selon l'OSol sera fixé.
- Les premières investigations montrent que les eaux de percolation des décharges sont parfois fortement contaminées par des PFAS. Cela ne concerne pas seulement les décharges de

type E, mais aussi celles de type B et C ainsi que les décharges plus anciennes. Les causes de ce phénomène ne sont pas claires.

Les solutions et les directives suivantes se réfèrent à l'état actuel des connaissances et doivent être vérifiées à chaque fois que de nouvelles connaissances sont acquises.

21. Connaissances préliminaires sur la pollution par les PFAS dans les décharges

Dans de nombreux cantons, les PFAS ne sont actuellement pas inclus dans le programme de surveillance, ce qui explique le manque de données permettant une évaluation suffisante de la situation à l'échelle nationale. En raison de l'importance de la question des PFAS, cette situation va progressivement évoluer.

Les premières investigations montrent toutefois que la pollution par les PFAS dans les décharges est généralement importante. Exemples disponibles (non exhaustifs) :

- Canton de ZH : 25 décharges ou compartiments de différents types ont été contrôlés pour leurs concentrations en PFAS dans les eaux de percolation¹². Presque toutes les eaux de percolation contenaient des PFAS, et la majorité d'entre elles dépassaient 10 fois la valeur de concentration de l'OSites, soit de 500 ng TEQ/l.
- Canton de TG : dans 3 des 11 décharges de type B, une valeur de 500 ng TEQ/l a été dépassée dans les lixiviats des décharges.
- Canton du TI : des PFAS ont été détectés dans les eaux de percolation de plusieurs anciennes décharges d'ordures ménagères.
- Canton du VS : L'eau de percolation d'une nouvelle décharge dans laquelle seuls des matériaux d'excavation analysés (concentration dans le lixiviat < 50 ng TEQ/l) ont été déposés, présente finalement des concentrations supérieures à 50 ng TEQ/l.

Ces exemples montrent que la pollution par les PFAS ne concerne pas seulement les anciennes décharges, mais aussi les nouvelles décharges de type B à E en exploitation.

On ne sait pas encore quels types de déchets sont à l'origine de la pollution parfois élevée des lixiviats. En raison de la grande hétérogénéité des matériaux de décharge et des difficultés de traçabilité dans les décharges anciennes, l'investigation des matériaux de décharge est jugée peu pertinente. En revanche, les flux de déchets plus importants et plus homogènes (par exemple les scories) doivent être investigués pour déterminer leur teneur en PFAS.

Inclusion des PFAS dans les programmes de monitoring des décharges

Les autorités cantonales chargées de délivrer les autorisations sont compétentes pour définir les programmes de monitoring des décharges. Le programme peut se baser sur le module « Estimation de la

¹² https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/abfall-rohstoffe/abfall-wirtschaft/publikationen/deponien/bericht_deponiesickerwasser.pdf

mise en danger » de l'aide à l'exécution « Décharges »¹³. Il est alors possible d'inclure des polluants spécifiques tels que les PFAS dans le programme de monitoring. La liste des paramètres dans l'aide à l'exécution mentionnée doit être complétée en conséquence lors de la prochaine révision.

Conclusion

Le contrôle de la présence de PFAS dans les lixiviats des décharges est important pour évaluer la situation globale. C'est pourquoi les PFAS doivent être inclus dans les programmes de monitoring des décharges (voir également la partie module « Estimation de la mise en danger » de « l'aide à l'exécution Décharges »).

Les connaissances sur l'origine de la pollution par les PFAS dans les décharges sont le plus souvent obtenues par l'analyse de déchets « homogènes » en grande quantité (p. ex. mâchefers d'UIOM, déchets de démolition mixtes, etc.) ou par des investigations dans les nouvelles décharges dont l'inventaire des déchets est connu. De telles investigations doivent être entreprises.

22. Conséquences des pollutions par les PFAS constatées pour la classification des déchets et les filières d'élimination

Les faits suivants constituent le point de départ d'une classification des déchets¹⁴ ainsi que des filières d'élimination possibles (pour les bases, voir les chapitres précédents) :

- Les PFAS étant des polluants artificiels produits et introduits dans l'environnement par l'homme, le seuil de quantification sert à distinguer les substances non polluées des substances polluées. Elle est actuellement de 0,1 µg/kg par substance individuelle pour les PFAS.
- La pollution ubiquitaire de la couche supérieure du sol a été démontrée par de vastes campagnes de mesures. Il est donc possible d'en déduire une pollution de fond de la couche supérieure du sol. Sa limite supérieure est fixée à 5 µg/kg (ΣPFAS) (voir chapitre 7).
- L'échantillonnage analytique de la couche supérieure du sol pour les PFAS n'est effectué qu'en cas de soupçon. Une obligation générale d'analyser les PFAS n'est pas considérée comme proportionnée, malgré la pollution de fond.
- Contrairement à la couche supérieure du sol, aucune pollution de fond ubiquitaire par les PFAS n'a été détectée dans le sous-sol ainsi que dans le sous-sol minéral (voir chapitre 8).
- Selon l'OSol, les sols dont les teneurs en polluants respectent les valeurs indicatives sont considérés comme valorisables du point de vue de la chimie du sol et doivent être valorisés le plus complètement possible selon l'OSol et l'OLED. Jusqu'à présent, il n'existe pas de valeur indicative ou de seuil d'investigation selon l'OSol pour les PFAS.
- Les mesures comparatives effectuées jusqu'à présent entre les teneurs des matières solides et des lixiviats (voir chapitre 6) permettent de conclure qu'à une teneur de 5 µg/kg (ΣPFAS) déjà, des concentrations toxicologiquement critiques peuvent apparaître dans les eaux de

¹³ <https://www.bafu.admin.ch/uv-1826-f>

¹⁴ [Classification des déchets de construction \(hormis les déchets de bois et les déchets métalliques\) ainsi que des déchets issus du traitement des déchets de chantier \(admin.ch\)](#)

percolation, qui sont plusieurs fois supérieures à la valeur de concentration actuelle selon l'OSites.

- Il en résulte que les matériaux présentant un niveau de pollution en PFAS supérieure à 5 µg/kg (Σ PFAS) ne sont pas adaptés à une mise en décharge. Dans le cas contraire, l'eau de percolation devrait être prétraitée, pendant des décennies le cas échéant, à l'aide de charbon actif ou de procédés comparables et coûteux avant d'être rejetée dans les égouts ou dans un cours d'eau.

Couche supérieure du sol retirée

Étant donné que l'on ne procède à des prélèvements analytiques pour les PFAS qu'en cas de soupçons, aucune analyse chimique des PFAS n'est effectuée dans la plupart des cas. La couche supérieure du sol a donc été ou est valorisée au moins avec une pollution de fond par les PFAS. La couche supérieure du sol non valorisable ou excédentaire, qui ne présente pas d'anomalies organoleptiques, est mise en décharge de type A ou B. Les sols classés comme faiblement ou peu pollués et qui ne peuvent pas être valorisés sur place sont également déposés dans des décharges de type B. On peut supposer que, par le passé, des flux massifs notables de matériaux de la couche supérieure du sol présentant une certaine pollution aux PFAS ont déjà été déposés dans ces types de décharges.

Couche sous-jacente du sol et sous-sol minéral (horizons B et C)

La valeur limite d'un polluant selon l'OLED s'applique lors de l'admission des déchets dans une décharge, qu'il s'agisse d'un sol ou d'un sous-sol minéral pollué ou d'autres déchets. C'est pourquoi la mise en décharge est en principe possible pour les couches sous-jacentes du sol et les déblais minéraux jusqu'à une teneur en PFAS de 5 µg/kg (Σ PFAS). Cependant, l'exigence de séparation des déchets de construction selon l'article 17, alinéa 1, OLED doit toujours être respectée. Lors de travaux de construction, il faut donc séparer la couche supérieure et la couche sous-jacente du sol, d'une part, et les matériaux d'excavation, d'autre part. Cela revêt une importance particulière en raison de la présence de PFAS dans la couche supérieure du sol.

Pour autoriser la mise en décharge de type A, l'OLED établit une liste exhaustive de déchets considérés comme non pollués. Les sols doivent notamment respecter les valeurs indicatives de l'OSol et les matériaux d'excavation minéraux doivent pouvoir être classés comme non pollués. En raison de l'exigence de valorisation de la ressource sol, qui respecte les valeurs indicatives OSol, aucun sol ne devrait en règle générale être mis en décharge de type A¹⁵. Cette prémisse est d'autant plus essentielle du fait de la pollution de fond par les PFAS, car l'accumulation des PFAS n'est justement pas idéale dans les décharges de type A du point de vue de la protection des eaux. En revanche, la situation est différente dans le cas de matériaux d'excavation non valorisables, « non suspects » ou dont il est prouvé qu'ils ne sont pas pollués. Comme il a été démontré que la pollution de fond est quasiment inexistante dans les matériaux du sous-sol (y compris l'horizon B), il ne devrait pas y avoir de problèmes liés aux PFAS.

¹⁵ Sols affectés physiquement ou par des organismes exotiques envahissants (voir [Évaluation des sols en vue de leur utilisation \(admin.ch\)](#)).

Conclusion

- Les PFAS ne sont analysés qu'en cas de soupçon spécifique. Les autres analyses continuent à être effectuées conformément à l'annexe 5, chiffre 2.3 ou chiffre 5.2 OLED. Cela correspond à la procédure habituelle, comme pour les autres polluants.
- Le seuil de quantification dans les matières solides pour les PFAS est actuellement de 0,1 µg/kg par substance individuelle. Les matériaux d'excavation et de percement qui respectent cette valeur (dite « valeur U ») sont considérés comme non pollués du point de vue de la législation sur les déchets, conformément à l'annexe 3, chiffre 1 OLED.
- Il n'existe actuellement pas de valeur indicative pour les PFAS selon l'OSol pour la couche supérieure du sol, sa valorisation est donc plus difficile.
- Des valeurs différentes pour la couche supérieure du sol d'une part et les matériaux d'excavation minéraux d'autre part en vue de l'autorisation de mise en décharge sont considérées comme difficiles à mettre en œuvre.
- Par conséquent, le sol et les matériaux d'excavation avec un niveau de pollution en PFAS allant jusqu'à 5 µg/kg (valeur cumulée non pondérée) (voir chapitre 26) peuvent être mis en décharge.
- Lors de travaux de construction, la séparation de la couche sous-jacente du sol et des matériaux d'excavation minéraux (art. 17, al. 1, OLED) doit également être effectuée dans le sens d'une valorisation prioritaire.
- Étant donné que les matériaux d'excavation minéraux non pollués ne semblent pas présenter de pollution de fond par les PFAS significative en l'absence de soupçons, ils peuvent être déposés dans une décharge de type A. La mise en décharge n'est toutefois autorisée que si une valorisation n'est pas possible (art. 17, al. 1, let. b, OLED).
- Les matériaux présentant un niveau de pollution en PFAS > 5 µg/kg doivent être traités.

Traitement

Les matériaux dont le niveau de pollution en PFAS dépasse 5 µg/kg (Σ PFAS) ne peuvent pas être mis en décharge et doivent donc être traités. Selon les connaissances actuelles, les méthodes les plus prometteuses pour les matériaux d'excavation pollués sont actuellement le lavage des sols ainsi que le traitement thermique (voir également le chapitre 16).

23. Lavage des sols

Avec la méthode de traitement du lavage des sols, les polluants se retrouvent dans l'eau de lavage ou sont concentrés dans la fraction fine. En 2022/2023, des essais de lavage de matériaux pollués par des PFAS ont été réalisés dans deux installations de lavage des sols dans les cantons de TG et ZH. De plus, un essai pilote a été suivi par les deux cantons TG et ZH. Les principaux aspects et conclusions sont présentés ci-dessous :

- Jusqu'à présent, ce sont surtout les matériaux présentant un niveau de pollution en PFAS faible à moyen qui ont été lavés (de 3 à 11 µg/kg (ΣPFAS)). Selon les premiers résultats, un objectif de traitement de 1,0 µg/kg (ΣPFAS) peut être atteint pour la plupart des fractions (fractions à grains moyens et gros, parfois à grains fins).
- Lors d'un essai avec un niveau de pollution en PFAS > 300 µg/kg (ΣPFAS), un appauvrissement à < 2,5 µg/kg (ΣPFAS) a été obtenu dans la plupart des fractions.
- D'autres essais sont prévus avec des matériaux plus pollués. L'investigation portera également sur l'influence des substances étrangères et de la teneur en matière organique sur le succès du traitement.
- D'après leurs observations, les deux opérateurs ont estimé que jusqu'à 100 000 t/an de matériaux pollués par des PFAS seraient produits dans toute la Suisse. La capacité des installations de lavage des sols serait suffisante pour cela.
- Comme on pouvait s'y attendre, l'élimination la plus importante est réalisée par concentration des PFAS dans le gâteau de filtre. Celui-ci doit ensuite être traité thermiquement. Pour ce futur flux massique élevé, une capacité suffisante de traitement thermique est nécessaire.
- L'élimination dans l'eau de traitement doit être encore optimisée. Des filtres à charbon actif suffisants ou d'autres étapes de traitement sont nécessaires pour le traitement de l'eau de processus chargée en PFAS.

Conclusion

Les essais réalisés jusqu'à présent montrent que le lavage des sols est une méthode de traitement réalisable pour les matériaux pollués par des PFAS, avec pour effet de réduire les quantités de matériaux à éliminer. Une valeur cible de l'ordre de 1,0 µg/kg (ΣPFAS) semble réaliste pour une grande partie des fractions obtenues. Des essais supplémentaires avec différents matériaux et différents niveaux de pollution sont nécessaires.

24. Traitement thermique et valorisation

Le traitement thermique est une voie d'élimination essentielle pour les matériaux fortement pollués par les PFAS, à condition qu'il détruise ou transforme de manière irréversible les PFAS et qu'il n'entraîne aucun risque pour l'environnement ou la santé. Elle sera très importante pour les futurs flux de matériaux que sont les gâteaux de filtration issus du lavage des sols. Le matériau minéral traité thermiquement peut ensuite être valorisé.

Installation de traitement thermique des sols / installation de désorption

Après un prétraitement mécanique, le matériau minéral est placé dans un four rotatif à une température pouvant atteindre 560 °C, en l'absence d'oxygène et avec un temps de séjour d'environ 20 minutes. Les polluants sont détruits ou transférés dans la phase gazeuse. Enfin, il y a une épuration des gaz en plusieurs étapes avec dépoussiérage, postcombustion thermique, étape de lavage et adsorbant à lit fixe. La capacité de traitement thermique des sols existant en Suisse est faible et actuellement utilisée principalement pour le traitement des contaminations au mercure, de sorte que des

installations étrangères sont sollicitées. Les demandeurs d'autorisation d'exportation doivent prouver que l'élimination prévue est respectueuse de l'environnement et qu'elle respecte les exigences en la matière prévues par le droit suisse de l'environnement. Des autorisations d'exportation ont déjà pu être délivrées pour le traitement de matériaux minéraux pollués par des PFAS dans des installations étrangères de traitement thermique des sols. Les conditions de l'OFEV pour l'exportation, en fonction de la configuration de l'installation, étaient les suivantes :

- Teneur en PFAS (valeur totale) des déchets limitée à 1 mg/kg
- Température de postcombustion des déchets contenant des PFAS de 1200 °C.

Cimenterie

En cimenterie, les matériaux d'excavation peuvent être introduits dans le four rotatif de l'installation après une préparation adéquate (concassage, broyage) et traités à des températures d'environ 1400 °C pour obtenir du clinker. Comme l'ajout du cru se fait en principe par le « côté froid », mais que les PFAS ne sont détruits qu'à partir d'une température >1000 °C, la valorisation pour les matériaux pollués par des PFAS doit soit se faire par le « côté chaud », c'est-à-dire lors de la combustion principale, soit l'air sortant devrait être à >1000 °C en postcombustion. Les premiers essais dans la cimenterie de Holcim dans le canton d'AG avaient commencé au cours du semestre d'hiver 2022/23. Entre-temps - situation en juin 2024 - la cimenterie a obtenu l'autorisation d'introduire les boues contenant des PFAS au niveau de la flamme en tête du four. Les principales conditions générales sont les suivantes :

- Uniquement chargement au niveau de la flamme en tête de four, températures de 1100 à 2000 °C, ~ 30 sec
- Boues pompables, teneur maximale en PFAS (valeur totale) de 500 µg/kg MS
- Surveillance (rejets de gaz, sol)
- Tonnage annuel limité pour les gâteaux de filtre et les boues (boues provenant du curage des dépotoirs de routes et matériaux pollués par des PFAS)

L'autorisation accordée est spécifique à l'installation et se fonde sur l'article 10 OMoD en relation avec l'article 24, alinéa 1, et l'annexe 4, chiffre 4.2, OLED.

Par la suite, il faut veiller à ce que les conditions d'acceptation respectives des installations d'élimination soient également connues dans les cantons qui doivent approuver des concepts d'élimination avec livraison de déchets dans des installations hors canton. L'existence d'une autorisation pour la réception de déchets de PFAS dans des installations hors canton doit être clarifiée au préalable.

Conclusion

Une première autorisation pour la valorisation de matériaux minéraux pollués par des PFAS dans une cimenterie suisse a été délivrée (état juin 2024). Cette autorisation est spécifique à l'installation et assortie de conditions appropriées.

25. Valeur T et valorisation sous conditions

Les matériaux d'excavation et de percement présentant une pollution dite tolérable (matériaux T, annexe 3, chiffre 2 OLED) doivent être valorisés. L'art. 19, al. 2 OLED énumère à cet effet quatre possibilités de valorisation. La valeur T est généralement dérivée de la valeur limite pour les décharges de type B et se situe autour de la moitié de la valeur B. Les matériaux T peuvent en outre être différenciés selon leur origine : d'une part, les matériaux d'excavation non traités et, d'autre part, les fractions issues d'un traitement (par exemple, lavage des sols), avec un échantillonnage analytique correspondant. Lors du traitement de matériaux pollués par des PFAS dans une installation de lavage des sols, une valeur de 1 µg/kg (Σ PFAS) peut être atteinte selon les exploitants d'installations en l'état actuel des choses (voir chapitre 23). Les performances documentées et effectives des installations sur l'ensemble des flux de volume et de pollution en PFAS ne sont pas disponibles ici, mais elles le seront éventuellement à la fin des phases d'essai. Jusqu'à ce que les valeurs limites soient définitivement fixées dans l'OLED, l'application d'une telle valeur nécessite l'approbation de l'OFEV au cas par cas. Actuellement, l'OFEV approuve une valeur T de 2,5 µg/kg (Σ PFAS). Les cantons peuvent fixer une valeur plus basse.

Dans le cas des PFAS, la faisabilité des filières de valorisation doit être évaluée et réalisée de manière différenciée, en raison de la toxicité et de la mobilité élevées de certaines substances individuelles PFAS. Une **valorisation en tant que matériau de construction à liant hydraulique** (art. 19, chiffre 2, lettre a OLED, bien que seul le liant hydraulique doive être appliqué ici) ainsi que comme **matériau de construction pour décharge** (art. 19, chiffre 2, lettre b) est considérée comme acceptable jusqu'à une valeur de 2,5 µg/kg (Σ PFAS). Au-delà de cette valeur, il est recommandé de procéder à un examen de la valorisation tolérable en fonction de la situation. La valorisation en tant que matériau de construction à liant bitumineux n'est autorisée dans aucune installation jusqu'à cette date (art. 19, chiffre 2, lettre a, OLED). La valorisation en tant que matière première pour le clinker de ciment dans une cimenterie est jusqu'à cette date autorisée en Suisse dans une usine, par ajout au niveau de la flamme en tête de four, de manière spécifique à l'installation. Il s'agit en quelque sorte de la combinaison d'un traitement thermique et d'une valorisation des matériaux contenant des PFAS. L'exportation vers des installations de désorption étrangères offre également des possibilités.

En cas de **valorisation directe sur site** (art. 19, chiffre 2, lettre d OLED), une pollution de l'ordre de 2,5 µg/kg (Σ PFAS) peut, selon la situation sur le site (géologie/hydrogéologie), conduire indésirablement à une nécessité d'agir au titre de la législation sur les sites pollués (voir estimations corrélation matières solides-lixiviat au chapitre 6). Une valorisation directe sur site doit donc être examinée au préalable en fonction de la situation dans le cadre d'une estimation de la mise en danger.

Conclusion

- Actuellement, l'OFEV approuve une valeur T de 2,5 µg/kg (Σ PFAS) pour les PFAS (voir chapitre 4). Les cantons peuvent fixer une valeur T plus basse et font parfois usage de cette possibilité.
- Avec cette valeur T de 2,5 µg/kg (Σ PFAS), la valorisation de matériaux minéraux pollués par des PFAS en tant que matériaux de construction à liant hydraulique ou en tant que matériaux de construction pour décharges (art. 19, chiffre 2, lettres a et b, OLED) est possible en fonction de la situation, selon la voie de valorisation concrète.

- En cas de valorisation directe sur site des matériaux d'excavation minéraux (art. 19, chiffre 2, lettre d, OLED) jusqu'à une valeur T de 2,5 µg/kg (ΣPFAS), il faut s'assurer qu'il n'en résulte pas de nécessité d'agir au titre de la législation sur les sites pollués.
- Le recyclage des matériaux liés au bitume n'est pas autorisé pour le moment (art. 19, chiffre 2, lettre a OLED).
- Le recyclage de matériaux minéraux pollués par des PFAS en tant que substituts de matières premières est autorisé en fonction de l'installation et est actuellement possible en Suisse dans une cimenterie (du côté chaud au niveau de la flamme en tête du four) ou par le biais d'une autorisation d'exportation vers une installation appropriée à l'étranger.

Mise en décharge

26. Valeurs limites pour la mise en décharge des déchets

Remarque : La classification des déchets est établie - par analogie avec les autres polluants - sur la base des teneurs dans les matières solides. Les valeurs de lixiviat peuvent également être utilisées comme aide à l'évaluation du potentiel de mise en danger. Selon l'expérience acquise jusqu'à présent, il n'est pas possible d'établir une corrélation fiable entre la teneur et le lixiviat pour la valeur totale des PFAS dans de nombreux cas.

Points de référence pour les valeurs limites dans la législation sur les déchets

Le seuil de quantification robuste d'un polluant artificiel non géogène donne la valeur limite pour un matériau non pollué (valeur U, voir également le chapitre 22). Comme le seuil de quantification des PFAS est de 0,1 µg/kg par substance individuelle, les matériaux qui respectent cette valeur sont considérés comme non pollués au sens de l'annexe 3, chiffre 1, OLED, du point de vue du droit des déchets.

La pollution de fond dans la couche supérieure du sol pouvant atteindre 5 µg/kg (ΣPFAS), des matériaux présentant des teneurs allant jusqu'à ces niveaux de pollution se trouvent déjà dans les décharges. En outre, d'autres déchets mis en décharge peuvent également contribuer à la pollution totale en PFAS, car jusqu'il y a peu, les déchets sans soupçon spécifique n'étaient guère analysés pour les PFAS. Étant donné qu'une teneur en PFAS à partir de 5 µg/kg (ΣPFAS) peut déjà produire des lixiviats critiques du point de vue toxicologique (voir chapitre 6), il n'y a pas de marge de manœuvre pour mettre en décharge des matériaux dont la teneur en PFAS dépasse 5 µg/kg. Dans cette mesure, l'OFEV approuve actuellement une valeur de 5 µg/kg (ΣPFAS non pondéré) pour la mise en décharge de matériaux pollués par des PFAS dans des décharges de type E. En revanche, les matériaux dont la charge en PFAS est > 5 µg/kg doivent être traités.

- **Valeur U pour le PFAS : 0,1 µg/kg par substance individuelle**
- **Valeur limite pour les décharges de type E : 5 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)**

Discussion de la valeur limite pour les décharges de type B

Pour discuter d'une valeur limite pour les décharges de type B, il est important de tenir compte de la pollution ubiquitaire dans la couche supérieure du sol, d'une part, et de son absence dans la couche sous-jacente du sol et le sous-sol, d'autre part. Ainsi, pour limiter l'accumulation de PFAS dans les décharges de type B, il a été notamment examiné s'il fallait proposer des valeurs limites différentes pour la couche supérieure du sol et pour les matériaux d'excavation minéraux. Il est cependant difficile d'appliquer des valeurs limites différentes selon la catégorie de déchets dans le cadre de la mise en décharge des déchets et de l'exposition à un même polluant, notamment parce que les deux flux de matériaux sont parfois mélangés dans les décharges. Une valeur limite unique pour les PFAS dans les décharges de type B est donc préférable.

Les décharges de type B sont soumises à des exigences moindres en matière de protection des eaux et n'ont généralement pas d'étanchéité de base ; par conséquent, une valeur limite correspondante doit généralement être inférieure à la valeur limite pour les déchets dans les décharges de type E, qui sont justement étanches. Par analogie avec d'autres polluants, une majorité du groupe de travail considère qu'une valeur limite de type B pour les PFAS comprise entre 1 µg/kg et 2,5 µg/kg (ΣPFAS) est praticable et proportionnée.

Cela pose problème lorsque les matériaux d'excavation contiennent de grandes quantités de couche supérieure du sol, qui peut présenter une charge en PFAS allant jusqu'à 5 µg/kg (ΣPFAS). Dans de tels cas, une investigation analytique des PFAS devrait être effectuée afin de s'assurer que le matériau respecte une valeur limite de type B comprise entre 1 µg/kg et 2,5 µg/kg (ΣPFAS). Une majorité du groupe de travail considère cette exigence comme proportionnée, notamment en raison de l'obligation de séparation en vigueur selon l'article 17, paragraphe 1, de l'OLED.

La valeur T est normalement dérivée de la valeur limite pour le type de décharge B et se situe autour de la moitié de la valeur B. Ainsi, selon la majorité du groupe de travail, la valeur T serait comprise entre 0,5 µg/kg et 1,25 µg/kg (ΣPFAS). Compte tenu des imprécisions de mesure pour le paramètre de la somme des PFAS, une valeur d'au moins 1 µg/kg (ΣPFAS) serait plus appropriée, ce qui, selon les connaissances actuelles, peut également être atteint par les installations de lavage des sols.

Conclusion

Comme pour d'autres polluants, une détermination analytique des PFAS n'est nécessaire qu'en cas de soupçon correspondant.

La majorité du groupe de travail propose d'utiliser les valeurs suivantes :

- Valeur U : 0,1 µg/kg par substance individuelle
- Valeur T : 1,0 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)
- Valeur B : 2,5 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)
- Valeur E : 5,0 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)

En complément, il faut noter qu'avec la valeur B de 2,5 µg/kg favorisée par le groupe de travail, même sans suspicion spécifique de la présence de PFAS, une analyse des PFAS serait nécessaire si les matériaux d'excavation livrés présentaient de grandes proportions de couche supérieure du sol.

Jusqu'à ce qu'elles soient définitivement fixées et intégrées dans l'OLED, l'application des valeurs limites prévues par la législation sur les déchets nécessite l'accord de l'OFEV au cas par cas. Depuis octobre 2022 et actuellement, l'OFEV recommande d'utiliser les valeurs suivantes :

- Valeur U : 0,1 µg/kg par substance individuelle
- Valeur T : 2,5 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)
- Valeur B : 5,0 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)
- Valeur E : 5,0 µg/kg (ΣPFAS non pondéré)

L'OFEV prend note de la recommandation de la majorité du groupe de travail, mais renonce pour l'instant à adapter ses recommandations sur les valeurs B et T. Pour des raisons de sécurité juridique, les valeurs limites ne doivent être modifiées que si des raisons objectives claires le justifient. Étant donné que de nombreuses questions relatives à l'applicabilité des valeurs plus basses privilégiées par le groupe de travail sont encore en suspens et que plusieurs clarifications et investigations sont en cours, l'OFEV maintient pour l'instant sa recommandation de valeurs. En outre, certains autres cantons non représentés dans les groupes de travail ont également exprimé de fortes réserves quant aux valeurs T et B inférieures. Dans le cadre de la mise en œuvre de la motion Maret «22.3929 - Définition dans les ordonnances de valeurs spécifiques aux PFAS »¹⁶, l'OFEV procédera à une nouvelle évaluation et adaptera, le cas échéant, sa recommandation de valeurs actuelle.

27. Gestion des sols excédentaires non valorisables

Selon le principe de valorisation, les terres excavées non polluées ne doivent pas être mises en décharge de type A¹⁷, mais doivent être valorisées directement en tant que sol, si possible sur place. Dans la pratique, des sols sans soupçon particulier de pollution, appelés sols excédentaires, sont néanmoins mis en décharge de type A ou utilisés comme « valorisation » pour le remblayage de gravières et d'autres sites d'extraction de matériaux. Cela pose problème car, selon les connaissances actuelles, le sol présente une pollution de fond par les PFAS. Avec la mise en décharge de grandes quantités, il peut en résulter une concentration locale de la pollution par les PFAS. Comme les eaux de percolation des décharges de type A ou des gravières ne sont généralement pas collectées et surveillées, et que de tels sites sont généralement situés dans des zones plus sensibles pour les biens à protéger que d'autres types de décharges, on ne sait pas actuellement quels effets résultent déjà de ces mises en décharge.

Ainsi, on peut en principe approuver le fait qu'aucun matériau de sol ne doit plus être déposé dans les décharges de type A, non seulement en raison de l'obligation de valorisation, mais aussi en raison de la pollution de fond par les PFAS. Une interdiction générale de la mise en décharge des sols excédentaires dans les décharges de type A n'est toutefois pas considérée comme un objectif. En effet, il est alors à craindre que les flux massifs soient détournés vers des décharges de type B, ce qui n'est pas non plus souhaitable du point de vue de la gestion des ressources. En outre, une interdiction de type A devrait être imposée par le biais des autorisations d'exploitation (art. 40, al. 3, let. c, OLED) ou par une modification de l'OLED (suppression de l'annexe 5, chiffre 1, let. c, OLED).

¹⁶ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20223929>

¹⁷ Sous réserve des sols physiquement ou affectés par des organismes exotiques envahissants (voir module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'« Aide à l'exécution Construire en préservant les sols » <https://www.bafu.admin.ch/uv-2112-f>

Étant donné que le problème fondamental réside probablement dans le taux de valorisation trop faible des matériaux terreux, une gestion active ciblée des flux de masse vers la valorisation est considérée comme absolument nécessaire. Pour ce faire, il convient de créer de meilleures conditions pour la valorisation (flux d'informations, « Bourse aux sols », etc.), en impliquant le service compétent en matière de protection des sols.

Pour être complet, il convient de mentionner qu'il n'y a pas d'objection à la mise en décharge de type A de matériaux d'excavation minéraux (matériaux de sous-sol) non suspectés de contenir des PFAS, car il n'y a pas de pollution de fond. Lors de travaux de construction, il est d'autant plus important de séparer systématiquement la couche supérieure du sol et le sous-sol des matériaux d'excavation.

Conclusion

- **La mise en décharge des sols excédentaires dans des décharges de type A doit être évitée dans la mesure du possible (pollution de fond par les PFAS et obligation de valorisation selon l'OLED).**
- **Il n'est actuellement pas recommandé d'interdire la mise en décharge de type A des matériaux terreux. Il convient plutôt de promouvoir activement et intensivement l'orientation vers la valorisation directe des sols.**
- **Pour cela, il faut intensifier la thématisation du problème dans les cantons avec le soutien des services de protection des sols pour la mise en œuvre.**
- **Les matériaux d'excavation non pollués et non valorisables, sans soupçon de la présence PFAS, peuvent être éliminés dans une décharge de type A, car il n'y a pas de pollution de fond par les PFAS dans le sous-sol minéral.**

28. Mise en œuvre lors de la planification, de l'autorisation, du suivi

En raison de l'assainissement et de l'élimination des matériaux pollués par des PFAS, qui n'en sont encore qu'à leurs débuts, on se trouve actuellement dans une certaine phase d'essai ou de consolidation. Les voies d'élimination actuelles mènent également à l'étranger (principalement vers un traitement thermique, parfois avec prétraitement). Mais de plus en plus de prétraitements sont également effectués en Suisse par lavage des sols suivi d'une valorisation ou d'une mise en décharge.

Le concept d'élimination (les mesures relatives à l'élimination des déchets font partie du projet d'assainissement, cf. art. 17, let. a OSites) est l'élément essentiel pour le pilotage et le suivi de l'élimination des déchets du début à la fin, ce qui est absolument nécessaire dans cette phase d'essai. En raison de l'expérience encore insuffisante en matière de PFAS, il convient de veiller à un degré de détail particulier (par exemple, informations nominatives sur les installations d'élimination et des décharges). La situation relative aux PFAS doit être prise en compte dès l'appel d'offres. Et ce, au cas par cas et en fonction du site.

Les services spécialisés dans les sites pollués et les déchets doivent exiger des bureaux spécialisés et des maîtres d'ouvrage des concepts d'élimination sans faille, complets et transparents, et communiquer activement sur ce point. Une meilleure implication des services de protection des sols est égale-

ment souhaitable. Le canton d'implantation du site pollué est le principal responsable, mais les cantons où sont situées les installations d'élimination impliquées, respectivement des décharges finales, doivent également être impliqués dans l'approbation du concept d'élimination.

Le système électronique pour l'élimination (EGI) utilisé jusqu'à présent dans de nombreux cantons peut être utile pour le suivi.

Les remettants de déchets et les entreprises d'élimination doivent être mieux informés de l'importance de la déclaration d'éventuelles teneurs en PFAS. Comme la classification se fait souvent uniquement sur la base du code OMoD, la présence de PFAS n'est souvent pas visible ; la description complémentaire des déchets, par exemple sur le bordereau de suivi OMoD, est ici essentielle. Il est avantageux d'inclure les exigences relatives aux PFAS dans l'autorisation d'exploitation des installations appropriées de traitement et, plus généralement, d'élimination.

Les installations de stockage temporaire ne peuvent servir que de tampon temporaire en cas de problèmes de capacité dans les installations de traitement. En revanche, ils ne peuvent pas servir de « salle d'attente pour les nouvelles technologies ».

Conclusion

- **Actuellement, des essais de traitement/élimination de matériaux pollués par des PFAS sont réalisés dans différentes installations nationales. Pour ce faire, un suivi étroit par les autorités d'exécution impliquées est nécessaire dans tous les cas (cf. art. 10 OMoD).**
- **En raison du manque d'expérience de nombreux acteurs jusqu'à présent, il convient de veiller particulièrement à l'exhaustivité des concepts de gestion des déchets (nom des installations / décharges impliquées, aptitude avérée des installations).**
- **Pour informer tous les acteurs (remettants de déchets et éliminateurs), il est nécessaire de déclarer de manière continue la pollution en PFAS des déchets.**
- **Outre le canton d'implantation d'où proviennent les déchets pollués par des PFAS, les cantons des installations/décharges impliquées doivent également être impliqués dans l'approbation du concept d'élimination.**
- **Il est souhaitable d'inclure des exigences spécifiques concernant les PFAS dans les autorisations d'exploitation des installations/décharges concernées.**

Annexe 1

Note sur la détermination d'une valeur totale pour les PFAS pondérée en fonction de la toxicité selon l'annexe 1 OSites, état au 22.04.2024



Note sur la détermination d'une valeur totale pour les PFAS pondérée en fonction de la toxicité selon l'annexe 1 OSites¹

A noter :

Si aucune valeur de concentration n'a été déterminée pour certaines substances pouvant polluer les eaux et se trouvant sur un site, l'autorité fixe les valeurs requises au cas par cas en accord avec l'OFEV, selon les prescriptions de la législation sur la protection des eaux (annexe 1, al. 1, OSites¹).

Pour les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), l'OSites ne contient pas de valeurs de concentration, elles doivent donc être déterminées au cas par cas. L'autorité doit toutefois obtenir au préalable l'accord de l'OFEV.

Dans le texte suivant, l'OFEV explique comment, de son point de vue et en fonction de l'état actuel des connaissances, il est possible de déterminer une valeur totale pondérée en fonction de la toxicité pour les PFAS. Cette valeur n'est toutefois pas universelle et doit être fixée par l'autorité compétente en fonction du site, conformément à la disposition ci-dessus. L'autorité doit pour chaque cas obtenir l'accord de l'OFEV au préalable.

La question de l'évaluation des PFAS dans le cadre de la gestion des déchets et des sites contaminés fait depuis quelque temps l'objet d'un débat très intense et controversé, et pas seulement en Suisse. La motion 22.3929 de la conseillère aux Etats Marianne Maret « Définition dans les ordonnances de valeurs spécifiques aux PFAS »² demande au Conseil fédéral de fixer des valeurs limites spécifiques pour les PFAS dans l'ordonnance sur les sites contaminés. Les paragraphes suivants décrivent comment l'OFEV détermine une valeur de concentration selon l'annexe 1 OSites pour les PFAS.

Malheureusement, il n'existe actuellement que peu ou pas de données toxicologiques de base sur un grand nombre des milliers de composés que compte le groupe de substances des PFAS. Les deux composés les plus étudiés sont le PFOS et le PFOA. Cependant, au fur et à mesure que les connaissances s'améliorent, il devient de plus en plus évident que l'on a jusqu'à présent sous-estimé le groupe de substances PFAS par rapport à son impact sur l'environnement et ses effets sur la santé. En conséquence, les valeurs limites des PFAS existantes ont été revues à la baisse dans de nombreux pays. Un consensus international et des valeurs limites largement soutenues pour l'évaluation des sites ou des déchets contaminés par des PFAS n'existent pas encore. L'avis de l'EFSA de septembre 2020³ et la directive européenne sur l'eau potable révisée en janvier 2021 reflètent l'état le plus récent des connaissances et définissent une première valeur limite internationale⁴. L'EFSA recommande une dose hebdomadaire maximale (tolerable weekly intake, TWI) de 4,4 ng/kg_{poids_corporel} pour la somme des PFOA, PFNA, PFHxS et PFOS. La directive européenne prescrit une valeur maximale de 100 ng/l pour 20 PFAS ou 500 ng/l pour la somme de tous les PFAS. La valeur de concentration proposée ci-après selon l'annexe 1 OSites se situe dans l'ordre de grandeur de ces valeurs.

Il n'est pas judicieux de fixer des valeurs de concentration basées sur les substances individuelles pour les PFAS. Plusieurs milliers de composés sont désormais connus. Pour tous les PFAS étudiés jusqu'à

¹ Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués du 26 août 1998 (ordonnance sur les sites contaminés, OSites, RS 814.680).

² <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20223929>

³ Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>

⁴ 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. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>



présent, le mécanisme d'action toxicologique semble être identique ou du moins similaire, c'est-à-dire que toutes les substances agissent de la même manière sur les organes cibles. On peut donc supposer que l'effet toxicologique est additif. Des valeurs de concentration isolées pour chaque substance ne prendraient pas en compte l'effet combiné des substances de ce groupe. Comme pour les dioxines/furanes, il est donc recommandé de fixer une valeur limite globale pondérée en fonction de la toxicité, la plus représentative possible pour la classe de substances. Cette valeur doit permettre de répondre à la question suivante : quelle est la toxicité du mélange de PFAS mesurable sur le site ?

Ces considérations sont la raison pour laquelle l'UE a défini deux valeurs totales de PFAS dans la directive sur l'eau potable. Le point faible de ces valeurs totales de l'UE réside toutefois dans le fait que les substances individuelles sont additionnées indépendamment de leur différence de toxicité. Or, en général, les PFAS à chaîne longue semblent être plus toxiques que les composés à chaîne courte, car ils se sont plus bioaccumulables et se décomposent plus lentement dans l'organisme.

L'Institut national néerlandais pour la santé publique et l'environnement (RIVM) a publié en 2018 une étude⁵ dans laquelle il a déduit, sur la base des données de la littérature sur la toxicité hépatique chez le rat, des facteurs de puissance relative (FPR) pour une série de PFAS dont la longueur de chaîne est comprise entre C₄-C₁₃, en tenant compte d'une toxicité additive en présence de plusieurs composés. Cette approche est en principe plus ciblée et plus appropriée que l'addition non pondérée des substances individuelles. Elle présente toutefois un point faible dans la mesure où, selon l'opinion de l'EFSA, le critère toxicologique critique n'est pas la lésion hépatique, mais la réduction de la réaction immunitaire. La question de savoir si les facteurs de puissance relative basés sur les lésions hépatiques peuvent être simplement appliqués à la réaction immunitaire n'est actuellement que partiellement étayée par des données.

Néanmoins, le 7 avril 2021, le RIVM a recommandé dans un memorandum⁶ d'utiliser jusqu'à nouvel ordre les facteurs de puissance qu'ils ont déduits en 2018, mais de s'orienter désormais vers le TWI de l'avis de l'EFSA comme point de référence toxicologique. La tendance est de privilégier la somme pondérée à la somme non pondérée. En outre, cette procédure présente l'avantage de ne pas évaluer uniquement les 4 PFAS de l'EFSA-Opinion, mais les 23 PFAS pour lesquels la RIVM a déduit des facteurs de puissance (cf. la liste des 23 substances avec leur FPR ci-dessous).

Le Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) de la Commission européenne estime également que la proposition du RIVM est actuellement la meilleure approche disponible pour établir des normes de qualité environnementale (Environmental Quality Standards, EQS)⁷. Nous pouvons nous rallier à cette évaluation. L'approche RIVM constitue un outil pragmatique et judicieux, dans le cas où des valeurs d'évaluation doivent également être fixées pour d'autres PFAS que les 4 figurant dans l'avis de l'EFSA. Elle est en principe plus convaincante que l'approche de la directive européenne sur l'eau potable basée sur une somme non pondérée de tous les acides carboxyliques et sulfoniques avec une longueur de chaîne entre C₄-C₁₃. Les connaissances toxicologiques les plus récentes sont prises en compte avec la référence à l'avis de l'EFSA.

⁵ Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach | RIVM
<https://rivm.openrepository.com/handle/10029/622164>

⁶ Memorandum on the implementation of the EFSA sum TWI of PFASs | RIVM
<https://www.rivm.nl/documenten/memorandum-on-implementation-of-efsa-sum-twi-of-pfass>

⁷ https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water_en#files

Le TWI de l'EFSA de 4,4 ng/kg_{poids_corporel} par semaine correspond, pour un poids corporel de 70 kg et une consommation quotidienne d'eau potable de 2 litres, à une valeur de concentration de 22 ng/l selon l'OSites⁸. Comme la moitié de la valeur de concentration est considérée comme valeur d'assainissement dans un secteur de protection des eaux AU, **l'OFEV propose d'utiliser comme valeur de concentration totale de PFAS le double de la valeur TWI arrondie à 50 ng/l**. La valeur de concentration est considérée comme respectée lorsque la somme du mélange de PFAS, pondérée par les FPR spécifiques aux substances, est inférieure à 50 ng TEQ/l (TEQ = équivalents de toxicité).

Les laboratoires d'analyse ne peuvent pas mesurer en routine les 23 PFAS pour lesquels des facteurs d'équivalence toxique ont été calculés. En se basant sur les études de terrain réalisées jusqu'à présent et sur les propriétés des substances, l'OFEV propose de baser jusqu'à nouvel ordre la valeur totale sur au moins les 9 substances PFAS suivantes : **PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS**. En cas de suspicion concrète de la présence d'autres PFAS pertinents, ceux-ci doivent également être inclus dans la somme des PFAS. Des facteurs d'équivalence toxique pour d'autres PFAS que les 23 mentionnés peuvent également être nécessaires. Pour ces substances, les facteurs d'équivalence toxique doivent être déterminés, dans la mesure du possible, à partir des études de toxicité disponibles, des informations sur la toxicocinétique et d'une comparaison avec des composés de structure similaire (ce que l'on appelle le Read-Across). La détermination est techniquement exigeante et comporte de grandes incertitudes en raison du peu de données disponibles. Afin d'harmoniser la mise en œuvre, l'OFEV publie tous les facteurs d'équivalence toxique supplémentaires sur son site Internet⁹ et recommande l'utilisation de ces facteurs (voir également la liste ci-dessous).

Le seuil de quantification pour les différentes substances PFAS est de 1 ng/l (valeur non pondérée, sans multiplication par le facteur d'équivalence toxique correspondant). Dans l'état actuel de la technique, cette valeur peut être atteinte dans la plupart des cas. Des seuils de quantification plus élevés pour des substances individuelles peuvent être autorisés s'il est possible de justifier objectivement pourquoi le seuil de 1 ng/l ne peut pas être atteint.

Les valeurs inférieures au seuil de quantification pour les différentes substances PFAS sont considérées comme nulles dans le calcul de la somme.

L'OFEV signale que les valeurs limites indiquées ci-dessus pourraient être concrétisées et adaptées en fonction des résultats des groupes de travail sur les PFAS, de la disponibilité de nouvelles données scientifiques, de la réalisation d'autres mesures sur les pollutions aux PFAS en Suisse, de l'expérience acquise en matière de mise en œuvre et d'une éventuelle nouvelle législation. Nous sommes conscients que cette incertitude n'est pas optimale pour toutes les parties concernées et qu'elle complique la mise en œuvre, mais elle est inévitable au vu des nombreuses questions scientifiques et techniques encore en suspens concernant la gestion de la pollution par les PFAS.

⁸ 4.4 ng/kg_{poids_corporel} par semaine / 7 jour * 70 kg * 2 lt, (=consommation d'eau par jour) = 22 ng/l

⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/sites-contamines/info-specialistes/traitement-des-sites-contamines.html>
> Valeurs de concentration pour des substances, qui ne figurent pas dans l'annexe 1 ou 3 OSites

TABLEAU : FACTEURS DE PUISSANCE RELATIVE (FPR) DE 23 PFAS SELON LE RIVM 2021 (MEMORANDUM ON THE IMPLEMENTATION OF THE EFSA SUM TWI OF PFASs)

Abréviation	Nom de la substance	N° CAS	FPR resp. TEF ¹⁾
PFBA	Acide perfluorobutanoïque	375-22-4	0.05
PFPeA	Acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	0.05
PFHxA	Acide perfluorohexanoïque	307-24-4	0.01
PFHpA	Acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	1
PFOA ²⁾	Acide perfluorooctanoïque	335-67-1	1
PFNA	Acide perfluoronanoïque	375-95-1	10
PFDA	Acide perfluorodécanoïque	335-76-2	10
PFUnDA	Acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8	4
PFDoDA	Acide perfluorododécanoïque	307-55-1	3
PFTTrDA	Acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8	3
PFTeDA	Acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7	0.3
PFHxDA	Acide perfluorohexadécanoïque	67905-19-5	0.02
PFODA	Acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6	0.02
PFBS	Acide perfluorobutane sulfonique	375-73-5	0.001
PFPeS	Acide perfluoropentane sulfonique	2706-91-4	0.6
PFHxS	Acide perfluorohexane sulfonique	355-46-4	0.6
PFHpS	Acide perfluoroheptane sulfonique	375-92-8	2
PFOS	Acide perfluorooctane sulfonique	1763-23-1	2
PFDS	Acide perfluorodécane sulfonique	335-77-3	2
HFPO-DA (~GenX)	Acide perfluoro(2-propoxypropanoïque)	62037-80-3	0.06
ADONA	Acide perfluoro-4,8-dioxa-3H-nonanoïque	958445-44-8	0.03
6-2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7	0.02
8-2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7	0.04

¹⁾ Dans les publications du RIVM, les facteurs d'équivalence toxique TEF sont appelés facteurs de puissance relative (FPR). Ces deux termes sont ici utilisés comme synonymes.

²⁾ Le PFOA est utilisé comme point de référence toxicologique pour la valeur de concentration de l'OSites et possède donc un TEF de 1.

FACTEURS D'ÉQUIVALENCE TOXIQUE (TEF) SUPPLÉMENTAIRES DÉRIVÉS D'AUTRES DEMANDES D'APPROBATION D'UNE VALEUR DE CONCENTRATION POUR LA SOMME DES PFAS, AUXQUELLES L'OFEV A DONNÉ SON ACCORD OU TEF DÉTERMINÉS À LA DEMANDE DE L'OFEV.

Abréviation	Nom de la substance	N° CAS	TEF
Capstone A	Capstone A	80475-32-7	0.05
Capstone B	Capstone B	34455-29-3	0.001
4:2-FTS	4:2 alcool fluorotélomère	757124-72-4	0.2
6:2-FTS	6:2 alcool fluorotélomère	27619-97-2	0.2
8:2-FTS	8:2 alcool fluorotélomère	39108-34-4	1
PFNS	Acide perfluorononanoïque	68259-12-1	10
PFOSA	Perfluorooctanesulfonamide	754-91-6	2
EtFOSA	N-Ethylperfluorooctan sulfonamide	4151-50-2	2
MeFOSA	N-Méthylperfluorooctan sulfonamide	31506-32-8	2
EtFOSAA	N-Ethylperfluorooctane sulfonamidoacétique	2991-50-6	2
MeFOSAA	Acide N-méthylperfluorooctane sulfonamidoacétique	2355-31-9	2

Pour la note : R. Kettler / OFEV / 22 avril 2024

Annexe 2

Tableau « Liste des activités pertinentes pour 30 (+36) substances PFAS », Mise à jour : 29.8.20233

Liste des activités pertinentes pour 30 (+36) substances PFAS / Liste der relevanten Aktivitäten für 30 (+36) PFAS-Stoffe

ont été utilisés ou dont les produits contiennent des PFAS. La liste n'est pas exhaustive. Mise à jour : 29.08.2023.

verwendet wurden oder deren Produkte PFAS enthalten. Die Liste ist nicht vollständig. Stand: 29.08.2023

Disclaimer:

Dies ist ein Dokument der beiden Arbeitsgruppen "Altlasten" und "Abfall" des Projekts "PFAS im Bereich Altlasten". In den Arbeitsgruppen waren das BAFU sowie Delegierte der KVV aus den kantonalen Altlasten- und Abfallfachstellen vertreten. Das Dokument dient informellen Zwecken. Die Inhalte haben keinen rechtlichen Stellenwert, sondern sind Empfehlungen der Arbeitsgruppe. Es widerspiegelt den damaligen Stand des Wissens und wird nicht nachgeführt.

Der offizielle Projekt-Abschlussbericht wird nach Freigabe durch den Projektausschuss auf der Webseite des BAFU publiziert.

Ceci est un document des deux groupes de travail "Sites pollués" et "Déchets" du projet "PFAS dans le domaine des sites pollués". L'OFEV ainsi que des délégués de la CCE issus des services cantonaux chargés des sites pollués et des déchets étaient représentés dans les groupes de travail. Le contenu du document n'a pas de valeur juridique et sert à des fins informelles ; il s'agit de recommandations des groupes de travail. Il reflète l'état des connaissances au moment de sa rédaction et ne sera pas mis à jour.

Le rapport final officiel du projet sera publié sur le site Internet de l'OFEV après validation par le comité de projet.

Activités pertinentes concernées (selon Glüge et al., 2020 et publications citées) – D: détecté; U: utilisé (antérieurement ou actuellement); B: breveté

	nom	N° CAS	Industrie aérospatiale	Bâtiment et construction	Industrie chimique	Placage de métaux par électrodéposition (electroplating)			Industrie électronique	
			additif aux fluides de freinage à base d'esters de phosphate et aux fluides hydrauliques		production de polymères fluorés	chromage	gravure des filtres en céramique piézoélectrique	nanorevêtement par plasma pulsé pour fabriquer des smartphones	circuits imprimés	fabrication d'équipements, d'appareils et de composants électriques
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4							D	
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3								
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4								
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9								
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1			U			U		
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1								
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2								
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8								
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1								
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8								
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7								
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5								
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4								
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4								
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8								
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1	U			U	U		D	
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1								
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3								
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6				B			D	
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8								
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9								
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2								
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6								
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4								
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2				U			D	D
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane sulfonique	39108-34-4								
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6			U					
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4								
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6				U				
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2								

Autres substances										
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6			U					
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8								
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7								
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7								
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2								
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2								
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0								
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2								
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4								
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0								
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9								
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2								
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3								
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1								
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2								
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1								
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5								
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1								
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7								
6:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2								
6:2/6:2/8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4								
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7								
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7								
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8								
8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7								
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester									
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8								
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8								
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4		U						
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5		U						
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3		U						
	Zonyl FSP	67479-86-1								
	Zonyl FSN	65545-80-4								
	Zonyl FSA	57534-43-7								
	Zonyl FSE	83653-37-6								
	Zonyl FSN 100	52550-44-4								

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Industrie de l'énergie		Fabrication de produits en métaux		Industrie minière	Industrie pétrolière et gazière			Industrie photographique
			batteries au Li	séparation du CO2 dans les gaz de combustion des centrales électriques au charbon	traitement et revêtement	fabrication de produits en métaux		traitement de surface des réservoirs pour les rendre oléophobiques	agent moussant hydrocarboné	agent anti-blocage dans les puits de pétrole	
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4									U
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3									
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4									
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9									
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1						D			U
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1	D								
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2									
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8									
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1									
PFTDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8									
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7									
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5								B (K-PFBS)	
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4									
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4									
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8									
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1									
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1									
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3									
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6			D					B	
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8									
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9									
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2			D						
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6									
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4									
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2	D		D						
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane sulfonique	39108-34-4									
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6									
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4									
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6		B							
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2									
Autres substances											
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6									
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8									
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7									
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7							D		
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2	D							B	
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2									
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0									
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2									
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4									
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0									
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9									
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2									
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3									
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1									
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2									
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1									
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5									
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1									
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7									
6:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2									
6:2/6:2/8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4									
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7									
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7									
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8									
8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7									
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester										
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8									
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8									
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4									
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5									
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3									
	Zonyl FSP	67479-86-1					U				
	Zonyl FSN	65545-80-4									
	Zonyl FSA	57534-43-7									
	Zonyl FSE	83653-37-6									
	Zonyl FSN 100	52550-44-4									

	nom	N° CAS	Production de plastique et caoutchouc			Industrie des semi-conducteurs			
			gazon artificiel	curatifs pour les formulations de fluoro-élastomères	aide à la transformation des polymères non-fluorés en plastique et résine	sous-couche antireflet	revêtement antireflet de surface	agents de gravure humide pour la fabrication de dispositifs semi-conducteurs	générateur de photo-acides dans le photorésist
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4							
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3				B			
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4							
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9							
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1							
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1							
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2							
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8							
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1							
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8							
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7							
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5		(U)		B			U
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4							
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4							
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8							
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1	D						U
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1							
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3							
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6							
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8							
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9							
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2							
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6							
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4							
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2	D		D			D	
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane-sulfonique	39108-34-4					D		
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6							
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4							
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6							
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2							

Autres substances									
PFODA	acide perfluorooctadecanoïque	16517-11-6							
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8							
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7							
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7							
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2							
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2							
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0							
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2							
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4							
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0							
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9							
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2							
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3							
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1							
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2							
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1							
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5							
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1							
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7							
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2							
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4							
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7							
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7							
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8							
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7							
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester								
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8							
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8							
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4							
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5							
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3							
	Zonyl FSP	67479-86-1							
	Zonyl FSN	65545-80-4							
	Zonyl FSA	57534-43-7							
	Zonyl FSE	83653-37-6							
	Zonyl FSN 100	52550-44-4							

	nom	N° CAS	Industrie du bois				Vêtements				
			formica	panneaux à lamelles orientées (OSB)	aggloméré	planches en bois	membranes respirantes	vêtements traités (impermeables)	vêtements / chaussettes de sport	vêtements professionnels (staff médical, pilotes, pompiers)	blouses chirurgicales, vêtements non-tissés
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4		D			D	D		D	D
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	D	D	D	D	D	D		D	D
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4		D	D	D	D	D		D	D
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	D	D	D	D	D	D		D	D
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1			D		D	D		D	D
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1					D	D		D	D
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2					D	D		D	D
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8					D	D		D	D
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1					D	D		D	D
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8						D			
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7						D			
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5					D	D		D	
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4						D			
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4			D		D	D			
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8				D	D				
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1				D	D	D	D		
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1									
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3		D							
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6						D			
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8						D			
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9									
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2									
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6									
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4									
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2						D		D	
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane sulfonique	39108-34-4						D		D	
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6									
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4									
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6									
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2									

Autres substances											
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6									
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8									
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7						D			
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7						D			
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2						D			
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2									
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0									
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2									
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4									
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0									
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9									
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2									
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3									
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1									
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2									
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1									
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5									
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1									
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7									
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2									
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4									
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7									
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7									
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8									
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7									
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester										
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8									
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8									
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4									
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5									
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3									
	Zonyl FSP	67479-86-1									
	Zonyl FSN	65545-80-4									
	Zonyl FSA	57534-43-7									
	Zonyl FSE	83653-37-6									
	Zonyl FSN 100	52550-44-4									

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Industrie automobile			Produits de nettoyage pour surfaces rigides/solides				Peintures, vernis, revêtements	
			utilisation générale - figure sur la "Global Automotive Declarable Substance List"	liquide d'essuie-glace	cire et produit de polissage	tensioactifs fluorés	vaisselle et verres	élimination du sulfate de Ca sur les membranes d'osmose inverse	vis en acier après placage Ni	peintures	revêtements
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4					D				D
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3									D
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4			D						D
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9									D
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D		D		D			U	D
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1									D
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2					D				D
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8									D
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1									D
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8									D
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7									D
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5									
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4									
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4									
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8									
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1							D		
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1									
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3									
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6									
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8									
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9									
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2									
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6									
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4									
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2									D
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane sulfonique	39108-34-4									
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6									
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4									
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6									
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2									

Autres substances											
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6									
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8									
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7		D	D	D	D			U	D
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7		D	D	D	D				D
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2									
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2									
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0									
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2									
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4									
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0									
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9									
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2									
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3									
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1									
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2									
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1									
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5									
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1									
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7									
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2									
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4									
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7									
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7									
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8									
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7									
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester										
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8									
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8									
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4			U	U				U	
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5			U	U				U	
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3			U	U				U	
	Zonyl FSP	67479-86-1						U			
	Zonyl FSN	65545-80-4						U			
	Zonyl FSA	57534-43-7						U			
	Zonyl FSE	83653-37-6									
	Zonyl FSN 100	52550-44-4									

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

Activités pertinentes concernées (selon Glüge et al., 2020 et publicatic

	nom	N° CAS	Ustensiles de cuisson		Dispersion	Appareils électroniques	Mousses anti-incendie		Retardateur de flamme
			supports de cuisson réutilisables (feuilles, films)	articles de cuisson en silicone antiadhésif	production de fluides magnétiques; dispersant pour le diagnostic d'anomalies cellulaires	cartes de circuits imprimés	AFFF	AR-FFFF	retardateur de flamme pour les résines polycarbonate
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4				D	D		
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3					D		
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4					D		
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9					D		
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D				D		
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1					D		
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2					D		
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8					D		
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1					D		
PFTDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8							
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7							
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5	D				D		U
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4					D		
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4					D		U (K-PFHxS)
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8					D		
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1				D	D		
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1							
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3					D		
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6				D	D		
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8							
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9							
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2							
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6			D				
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4							
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2				D	D	D	
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-decane sulfonique	39108-34-4							
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6							
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4							
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanane-1-sulfonique	73606-19-6							
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2							
Autres substances									
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6							
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8							
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7	D	D			D		
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7	D	D			D		
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2							
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2							
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0							
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2							
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4							
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0							
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9							
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2							
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3							
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1							
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2							
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1							
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5							
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1							
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7							
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2							
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4							
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7							
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7							
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8							
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7							
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester								
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8							
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8							
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4							
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5							
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3							
	Zonyl FSP	67479-86-1							
	Zonyl FSN	65545-80-4							
	Zonyl FSA	57534-43-7							
	Zonyl FSE	83653-37-6							
	Zonyl FSN 100	52550-44-4							

peu ou pas d'information
9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Produits pour le sol							Équipements de laboratoire
			moquettes / tapis (synthétiques)	moquettes / tapis (nylon)	produits de protection des tapis	cire de polissage pour sol	linoléum résilient (vinyl)	nettoyage des revêtements en vinyl et linoléum	revêtement de sol en plastique stratifié	consommables (solvants pour LC-MS en phase inverse)
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4	D	D		D				D
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	D	D		D			D	
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4	D	D		D			D	
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	D	D		D			D	
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D	D		D				
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1	D	D		D				
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2	D	D		D				
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8	D	D		D				
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1	D	D		D				
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8								
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7	D							
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5	D			D				
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4								
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4	D		D					
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8								
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1	D			D	D		D	
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1								
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3				D			D	
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6								
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8								
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9								
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2						D		
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6								
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4								
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2	D							
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-décanesulfonique	39108-34-4								
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6								
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4								
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6								
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-décenoïque	70887-84-2								

Autres substances										
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6								
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8								
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7	D		D	D				
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7	D		D					
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2			D					
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2								
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0								
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2								
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4								
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0								
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9								
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2								
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3								
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1								
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2								
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1								
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5								
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1								
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7								
6:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2								
6:2/6:2/8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4								
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7								
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7								
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8								
8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7								
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester									
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8								
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8								
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4				U				
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5				U				
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3				U				
	Zonyl FSP	67479-86-1								
	Zonyl FSN	65545-80-4								
	Zonyl FSA	57534-43-7								
	Zonyl FSE	83653-37-6								
	Zonyl FSN 100	52550-44-4								

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Industrie du cuir			Lubrifiants et graisses	Dispositifs médicaux				Papier et emballages
			imprégnation du cuir	cirage	spray d'imprégnation (cuir, textiles)	lubrifiant	filtre couleur CCD dans les vidéo-endoscopes	dentifrice, bain de bouche	fil dentaire	dispersant	emballages alimentaires
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4	D		D						D
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	D								D
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4	D	D	D						D
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	D		D						D
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D	D	D						D
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1	D		D						D
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2	D		D						D
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8	D		D						D
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1	D		D						D
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8	D		D						D
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7	D		D						D
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5	D		D					D	
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4									
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4	D								
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8	D								
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1	D				D			D	D
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1									
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3	D								
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6			D						
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8									
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9									
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2									
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6									
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4									
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2									
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-décanesulfonique	39108-34-4									
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6									
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4									
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanone-1-sulfonique	73606-19-6									
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-décenoïque	70887-84-2									

Autres substances											
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6									
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8									
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7			D	D		<u>B</u>	D		D
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7			D	D		<u>B</u>	D		D
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2									U
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2									
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0									D
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2									D
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4									D
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0									
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9									D
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2									
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3									D
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1									D
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2									D
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1									D
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5									
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1									
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7									D
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2									D
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4									D
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7									D
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7									D
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8									D
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7									D
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester										
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8									
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8									
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4									
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5									
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3									
	Zonyl FSP	67479-86-1									
	Zonyl FSN	65545-80-4									
	Zonyl FSA	57534-43-7									
	Zonyl FSE	83653-37-6									
	Zonyl FSN 100	52550-44-4									

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Cosmétiques et produits de soin													
			cosmétiques en général	BB/CC crème, fond de teint	lotion / crème / huile pour le corps	correcteur de teint / anti-cernes	crème / ombre à paupières	eye liner, crayon pour les yeux	high- lighter	baume / rouge à lèvres, gloss	poudre	peeling	écran solaire	crèmes, rincages et revitalisants pour cheveux	spray / mousse pour cheveux	produits de manucure
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4	D	D	D	D	D				D	D				
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	D	D	D	D	D	D			D	D				
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4	D	D	D	D	D		D		D	D				D
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	D	D	D	D	D		D		D	D	D			D
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1	D	D	D	D	D		D	D			D	D		D
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7	D	D	D	D	D		D	D			D			D
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5								D						
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4														
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4														
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8														
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1														
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1														
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3														
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6														
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8														
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9														
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2														
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6														
4:2 FTS	acide 1H, 1H, 2H, 2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4														
6:2 FTS	acide 1H, 1H, 2H, 2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2	D	D	D	D									D	
8:2 FTS	acide 1H, 1H, 2H, 2H-perfluoro-1-décanesulfonique	39108-34-4														
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6														
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4														
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6														
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-décénoïque	70887-84-2														

Autres substances																
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6														
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8														
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7														
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7														
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2														
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2	D													
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0	D													
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2	D													
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4	D													
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0	D													
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9	D													
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2	D													
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3	D													
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1	D													
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2	D													
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1	D													
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5	D													
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1	D													
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7	D													
6:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2														
6:2/6:2/8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4														
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7														
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7														
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8														
8:2 triPAP	triestre de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7														
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester															
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8														
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8														
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4														
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5														
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3														
	Zonyl FSP	67479-86-1												U		
	Zonyl FSN	65545-80-4														
	Zonyl FSA	57534-43-7														
	Zonyl FSE	83653-37-6												U		
	Zonyl FSN 100	52550-44-4														

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

	nom	N° CAS	Pesticides		Plastiques, caoutchouc et résines			Imprimerie	Adhésifs	Soudure
			détecté dans les solutions	insecticide (fourmis et cafards)	caoutchouc (frigo)	antistatique en plastique ou en caoutchouc	résine	encre d'impression		fondant pour plomberie avec étain de soudure au plomb
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4								
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3								
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4								
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9								
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D							
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1								
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2								
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8								
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1								
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8								
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7								
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5				B	D			
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4								
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4			D					
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8								
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1			D	B		D		D (PFOS d'ammonium)
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1								
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3								
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6								
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8								
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9								
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2		U						
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6								
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4								
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2								
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro1-decane sulfonique	39108-34-4								
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6								
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4								
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6								
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-decenoïque	70887-84-2								

Autres substances										
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6								
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8								
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7								
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7						D		D
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2								
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2								
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0								
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2								
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4								
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0								
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9								
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2								
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3								
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1								
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2								
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1								
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5								
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1								
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7								
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2								
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4								
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7								
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7								
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8								
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7								
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester									
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8								
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8								
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4								
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5								
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3								
	Zonyl FSP	67479-86-1								
	Zonyl FSN	65545-80-4								
	Zonyl FSA	57534-43-7								
	Zonyl FSE	83853-37-6								
	Zonyl FSN 100	52550-44-4							U	

	nom	N° CAS	Articles de sport				Textiles et tapisserie d'ameublement		Spray et textiles anti-buée
			cire pour skis	lubrifiants pour bicyclette	gants de golf (anti-salissure)	textiles pour usage maritime*	textiles et tapisserie anti-taches et anti-graisses	spray d'imprégnation (textiles)	
PFBA	acide perfluorobutanoïque	375-22-4	D	D			D	D	
PFPeA	acide perfluoropentanoïque	2706-90-3	D				D		
PFHxA	acide perfluorohexanoïque	307-24-4	D			D	D	D	
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	D	D			D		
PFOA	acide perfluorooctanoïque	335-67-1	D	D		D	D	D	
PFNA	acide perfluorononanoïque	375-95-1	D				D		
PFDA	acide perfluorodécanoïque	335-76-2	D				D	D	
PFUnDA	acide perfluoroundécanoïque	2058-94-8	D				D		
PFDoDA	acide perfluorododécanoïque	307-55-1	D				D		
PFTriDA	acide perfluorotridécanoïque	72629-94-8	D				D		
PFTeDA	acide perfluorotétradécanoïque	376-06-7	D				D		
PFBS	acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5			B		D		
PFPeS	acide perfluoropentanesulfonique	2706-91-4							
PFHxS	acide perfluorohexanesulfonique	355-46-4					D		
PFHpS	acide perfluoroheptanesulfonique	375-92-8					D		
PFOS	acide perfluorooctanesulfonique	1763-23-1	D				D		
PFNS	acide perfluorononanesulfonique	68259-12-1							
PFDS	acide perfluorodécanesulfonique	335-77-3					D	D	
(P)FOSA	perfluorooctanesulfonamide	754-91-6							
(N-)MeFOSA	N-Méthylperfluorooctanesulfonamide	31506-32-8							
(N-)MeFOSAA	acide N-méthylperfluorooctanesulfonamide	2355-31-9							
(N-)EtFOSA	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide	4151-50-2							
EtFOSAA	acide N-éthylperfluorooctanesulfonamidoacétique	2991-50-6							
4:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-hexanesulfonique	757124-72-4							
6:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonique	27619-97-2							
8:2 FTS	acide 1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-décanesulfonique	39108-34-4							
HFPO-DA (GenX)	acide de 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoïque	13252-13-6							
DONA	acide de 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	919005-14-4							
9Cl-PF3ONS	acide 9-chlorohexadécafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	73606-19-6							
8:2-FTUCA	acide de 2H-Perfluoro-2-décenoïque	70887-84-2							

Autres substances									
PFODA	acide perfluorooctadécanoïque	16517-11-6	D						
ADONA	sel d'ammonium du DONA	958445-44-8							
6:2 FTOH	6:2 alcool fluorotélomère	647-42-7	D	D	D		D	D	D
8:2 FTOH	8:2 alcool fluorotélomère	678-39-7	D		D				D
EtFOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamide-éthanol	1691-99-2							
4:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 4:2	150065-76-2							
6:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57678-01-0							
8:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 8:2	57678-03-2							
10:2 monoPAP	monoester de phosphate de fluorotélomère 10:2	57678-05-4							
4:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2	135098-69-0							
6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2	57677-95-9							
4:2/6:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 4:2/6:2	1158182-59-2							
6:2/8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/8:2	943913-15-3							
6:2/10:2 diPAP	6:2/10:2 diester de phosphate de fluorotélomère	1578186-50-1							
6:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 6:2/12:2	1578186-69-2							
8:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2	678-41-1							
8:2/10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/10:2	1158182-60-5							
8:2/12:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 8:2/12:2	1578186-42-1							
10:2 diPAP	diester de phosphate de fluorotélomère 10:2	1895-26-7							
6:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	165325-62-2							
6:2/6:2/8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 6:2	1578186-53-4							
6:2/8:2/8:2 triPAP	6:2/8:2/8:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-56-7							
6:2/8:2/10:2 triPAP	6:2/8:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-64-7							
6:2/6:2/10:2 triPAP	6:2/6:2/10:2 triester de phosphate de fluorotélomère	1578186-57-8							
8:2 triPAP	triester de phosphate de fluorotélomère 8:2	149790-22-7							
monoSAmPAP	EtFOSE-based phosphate monoester								
diSAmPAP	EtFOSE-based phosphate diester	2965-52-8							
triSAmPAP	EtFOSE-based phosphate triester	2250-98-8							
	monoester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-71-4							
	monoester de phosphate de fluorotélomère de diammonium (n:2)	65530-72-5							
	diester de phosphate de fluorotélomère d'ammonium (n:2)	65530-70-3							
	Zonyl FSP	67479-86-1							
	Zonyl FSN	65545-80-4							
	Zonyl FSA	57534-43-7							
	Zonyl FSE	83653-37-6							
	Zonyl FSN 100	52550-44-4							

peu ou pas d'information

9 PFAS proposés par l'OFEV comme programme de mesure minimal.

Articles de synthèse sur les activités historiques et actuelles ayant utilisé des PFAS / Übersichtsartikel über historische und aktuelle Aktivitäten, die PFAS verwendet haben

Pour la liste des brevets, consulter les deux publications ci-dessous / Eine Liste der Patente finden Sie in den beiden folgenden Publikationen

Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T., DeWitt, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C.A., Trier, X., Wang, Z., 2020. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science Processes & Impacts*, 22, 2345.

Gaines, L.G., 2023. Historical and current usage of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(5), 353-378.

Références / Referenzen

Backe, W.J., Day, T.C., Field, J.A., 2013. Zwitterionic, cationic, and anionic fluorinated chemicals in aqueous film forming foam formulations and groundwater from US military bases by nonaqueous large-volume injection HPLC-MS/MS. *Environmental science & technology*, 47(10), 5226-5234.

Barzen-Hanson, K.A., Roberts, S.C., Choyke, S., Oetjen, K., McAlees, A., Riddell, N., McCrindle, R., Ferguson, P.L., Higgins, C.P., Field, J.A., 2017. Discovery of 40 Classes of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Historical Aqueous Film-Forming Foams (AFFFs) and AFFF-Impacted Groundwater.

Bečanová, J., Melymuk, L., Vojta, Š., Komprdová, K., Klánová, J., 2016. Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere*, 164, 322-329.

Blom, C., Hanssen, L., 2015. Analysis of per-and polyfluorinated substances in articles. (M-360)

Borg, D., Ivarsson, J., 2017. Analysis of PFASs and TOF in Products.

Boucher, J.M., Cousins, I.T., Scheringer, M., Hungerbühler, K., Wang, Z., 2018. Toward a comprehensive global emission inventory of C4–C10 perfluoroalkanesulfonic acids (PFASs) and related precursors: focus on the life cycle of C6-and C10-based products. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(1), 1-7.

Brinch, A., Jensen, A.A., Christensen, F., 2018. Survey of Chemical Substances in Consumer Products-Risk Assessment of Fluorinated Substances in Cosmetic Products No. 169.

Buck, R.C., Murphy, P.M., Pabon, M., 2012. Chemistry, Properties, and Use of Commercial Fluorinated Surfactants. In *The Handbook of Environmental Chemistry - Polyfluorinated Chemicals and Transformation Products*, edited by Thomas P. Knepper and Frank T. Lange, 17:1–24. Springer Berlin Heidelberg.

D'Agostino, L.A., Mabury, S.A. 2014. Identification of Novel Fluorinated Surfactants in Aqueous Film Forming Foams and Commercial Surfactant Concentrates. *Environmental Science and Technology* 48 (1): 121–29.

Dinglasan-Panlilio, M.J.A., Mabury, S.A., 2006. Significant residual fluorinated alcohols present in various fluorinated materials. *Environmental Science & Technology*, 40(5), 1447-1453.

Fiedler, S., Pfister, G., Schramm, K.W., 2010. Poly- and perfluorinated compounds in household consumer products. *Toxicological and Environ Chemistry*, 92(10), 1801-1811.

Gebbink, W.A., Ullah, S., Sandblom, O., Berger, U., 2013. Polyfluoroalkyl phosphate esters and perfluoroalkyl carboxylic acids in target food samples and packaging—method development and screening. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 7949-7958.

Guo, Z., Liu, X., Krebs, K.A., Roache, N.F., 2009. Perfluorocarboxylic acid content in 116 articles of commerce. Research Triangle Park, NC: US Environmental Protection Agency.

Hauser, H., Füglistner, L., Scheffellaier, T., 2020. Verwendung von Fluortensiden in der Galvanikbranche: Übersicht über die Situation in der Schweiz.

Herkert, N.J., Kassotis, C.D., Zhang, S., Han, Y., Pulikkal, V.F., Sun, M., Fergusson, L., Stapleton, H.M., 2022. Characterization of per-and polyfluorinated alkyl substances present in commercial anti-fog products and their in vitro adipogenic activity. *Environmental Science & Technology*, 56(2), 1162-1173.

Herzke, D., Posner, S., Olsson, E., 2009. Survey, screening and analyses of PFCs in consumer products. Project report. Mölndal: Swerea IVF AB, 9, 47.

Janousek, R.M., Lebertz, S., Knepper, T.P., 2019. Previously unidentified sources of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances from building materials and industrial fabrics. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(11), 1936-1945.

KEMI Swedish Chemical Agency, 2015. Occurrence and Use of Highly Fluorinated Substances and

Kissa, Erik. 2001. *Fluorinated Surfactants and Repellents*. Marcel Dekker AG.

Kotthoff, M., Müller, J., Jürling, H., Schlummer, M., Fiedler, D., 2015. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 14546-14559.

Lerner, S., 2015. The Teflon Toxin. The Intercept, series available online at <https://theintercept.com/series/the-teflon-toxin/> (accessed September 4, 2018).

Liu, X., Guo, Z., Krebs, K.A., Pope, R.H., Roache, N.F., 2014. Concentrations and trends of perfluorinated chemicals in potential indoor sources from 2007 through 2011 in the US. *Chemosphere*, 98, 51-57.

Mumtaz, M., Bao, Y., Liu, L., Huang, J., Cagnetta, G., Yu, G., 2019. Per-and polyfluoroalkyl substances in representative fluorocarbon surfactants used in Chinese film-forming foams: levels, profile shift, and environmental implications. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(5), 259-264.

Norden, 2020. SPIN - Substances in Preparations in Nordic Countries.

Norwegian Environment Agency, 2017. Investigation of Sources of PFBS into the Environment (M-759).

Peaslee, G.F., Wilkinson, J.T., McGuinness, S.R., Tighe, M., Caterisano, N., Lee, S., Gonzales, A., Roddy, M., Mitchell, K., 2020. Another pathway for firefighter exposure to per-and polyfluoroalkyl substances: Firefighter textiles. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(8), 594-599.

Poulsen, P.B., Jensen, A.A., Wallström, E., Aps, E.N.P.R.O., 2005. More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA. *Environmental Project*, 1013, 2005.

Schultes, L., Vestergren, R., Volkova, K., Westberg, E., Jacobson, T., Benskin, J. P., 2018. Per-and polyfluoroalkyl substances and fluorine mass balance in cosmetic products from the Swedish market: implications for environmental emissions and human exposure. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(1), 1-11.

Schulze, P.E., Norin, H., 2006. Fluorinated pollutants in all-weather clothing. *Friends of the Earth Norway*.

Trier, X., Taxvig, C., Rosenmai, A.K., Pedersen, G.A., 2018. PFAS in paper and board for food contact: Options for risk management of poly-and perfluorinated substances. *Nordic Council of Ministers*.

UNEP, 2017. Guidance for the Inventory of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) and Related Chemicals Listed under Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (UNEP/POPS/COP.7/INF/26).

USEPA, 2016. Chemical Data Reporting under the Toxic Substances Control Act. 2016.

Wang, Z., Cousins, I.T., Berger, U., Hungerbühler, K., Scheringer, M., 2016. Comparative assessment of the environmental hazards of and exposure to perfluoroalkyl phosphonic and phosphinic acids (PFPA and PFPiAs): current knowledge, gaps, challenges and research needs. *Environment international*, 89, 235-247.

Références / Referenzen (pour les mousses anti-incendie; für Feuerlöschschäume)

Dauchy, X., Boiteux, V., Bach, C., Rosin, C., Munoz, J.F., 2017. Per- and polyfluoroalkyl substances in firefighting foam concentrates and water samples collected near sites impacted by the use of these foams. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 7187-7195.

Houtz, E.F., Higgins, C.P., Field, J.A., Sedlak, D.L., 2013. Persistence of perfluoroalkyl acid precursors in AFFF-impacted groundwater and soil. *Environmental science & technology*, 47(15), 8187-8195.

Weiner, B., Yeung, L.W., Marchington, E.B., D'Agostino, L.A., Mabury, S.A., 2013. Organic fluorine content in aqueous film forming foams (AFFFs) and biodegradation of the foam component 6: 2 fluorotelomermercaptoalkylamido sulfonate (6: 2 FTSAS). *Environmental Chemistry*, 10(6), 486-493.

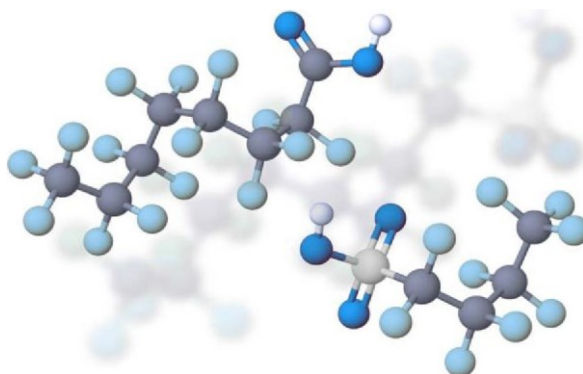
Annexe 3

Rapport d'experts « Aides pour l'inscription au cadastre des sites pollués (CSP) », Magma AG, du 30.01.2023

Bases de décision pour l'exécution dans le cas de sites pollués par des PFAS en Suisse

Aide pour l'inscription au cadastre des sites pollués (CSP)

Rapport d'experts sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)



Numéro de commande : 21 201.1

Date : 30.1.2023

Version: v 1.1 [230130_PFAS_Katastereintrag.docx]

Mandant

Office fédéral de l'environnement [OFEV], division Sols et biotechnologie,
section Sites contaminés, CH-3003 Berne

Mandataire

magma AG Geologie Umwelt Planung, CH-8408 Winterthur

Auteur du rapport

Reto Philipp magma AG

Accompagnement OFEV

Rolf Kettler	OFEV, division Sols et biotechnologie
Monika Schwab-Wyssner	OFEV, division Sols et biotechnologie [direction du projet]
Christiane Wermeille	OFEV, division Sols et biotechnologie [cheffe de la section Sites contaminés]

Projet "PFAS dans le domaine des sites et sols pollués".

Dans le cadre du projet "PFAS dans le domaine des sites contaminés", le groupe de travail "Sites contaminés" a participé à l'élaboration du présent rapport. Le groupe de travail "Sites contaminés" est constitué de représentants des cantons suivants : BE, BL, BS, NE, SG, TG, VD, VS, ZH.

Remarque

Ce rapport a été rédigé sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement [OFEV]. Le mandataire est seul responsable de son contenu.

Contenu

1.	Introduction, objectifs	4
1.1	Situation de départ.....	4
1.2	Objectifs	4
2.	Méthode	5
2.1	Les numéros de branche selon et NOGA1 et ASW2	6
2.2	Mousses extinctrices avec et sans PFAS	6
2.3	Questions spécifiques aux branches.....	6
2.4	Fenêtre temporelle	6
2.5	Évaluation	6
2.6	Besoin d'investigations supplémentaires sur les sites d'APFC	7
	Annexe 1 : Principes de base.....	9
	Annexe 2 : Arbres de décision spécifiques aux branches	10

Image de couverture :

En haut : structure de l'acide perfluorooctanoïque (PFOA, $C_8HF_{15}O_2$) ; en bas : structure de l'acide perfluorobutanesulfonique (PFBS, $C_4HF_9O_3S$). Source: www.ecori.org

1. Introduction, objectifs

1.1 Situation de départ

Les PFAS sont des composés alkyles perfluorés [entièrement fluorés] et polyfluorés [partiellement fluorés]. On connaît plus de 4'500 composés, dont de nombreux précurseurs qui peuvent être dégradés en composés perfluorés. Les PFAS sont utilisés de manière très variée en raison de leurs propriétés particulières [couches polymères hydrophobes et oléophobes, grande stabilité thermique, chimique et biologique, formation de films mouillants].

De nombreux cantons analysent les PFAS dans le cadre du monitoring ou de l'étude de sites pollués et collectent ainsi en permanence des informations sur la diffusion des PFAS dans les eaux souterraines et les sols. Sur la base de ces nouvelles connaissances, de nombreux

- ▶ terrains d'exercice de lutte contre l'incendie avec utilisation de mousse extinctrice,
- ▶ sites d'exploitation sur lesquels des PFAS ont été ou sont utilisés dans la production artisanale ou industrielle,
- ▶ décharges dans lesquelles des déchets d'incendie, des produits contenant des PFAS ou des déchets de production sont ou ont été éliminés, et
- ▶ incendies au cours desquels de la mousse extinctrice a été utilisée pour lutter contre le feu,

ont un impact environnemental important [2]. Les sites dont la nature polluée est avérée ou très probable doivent être enregistrés dans le cadastre des sites pollués.

Art. 5 OSites

Les sites nécessitant une investigation doivent être examinés dans le cadre d'une investigation préalable, qui se compose généralement d'une investigation historique et d'une investigation technique. L'investigation préalable permet de recueillir les informations nécessaires à l'évaluation de la nécessité d'une surveillance et d'un assainissement et les évalue en termes de risques pour l'environnement [évaluation des risques].

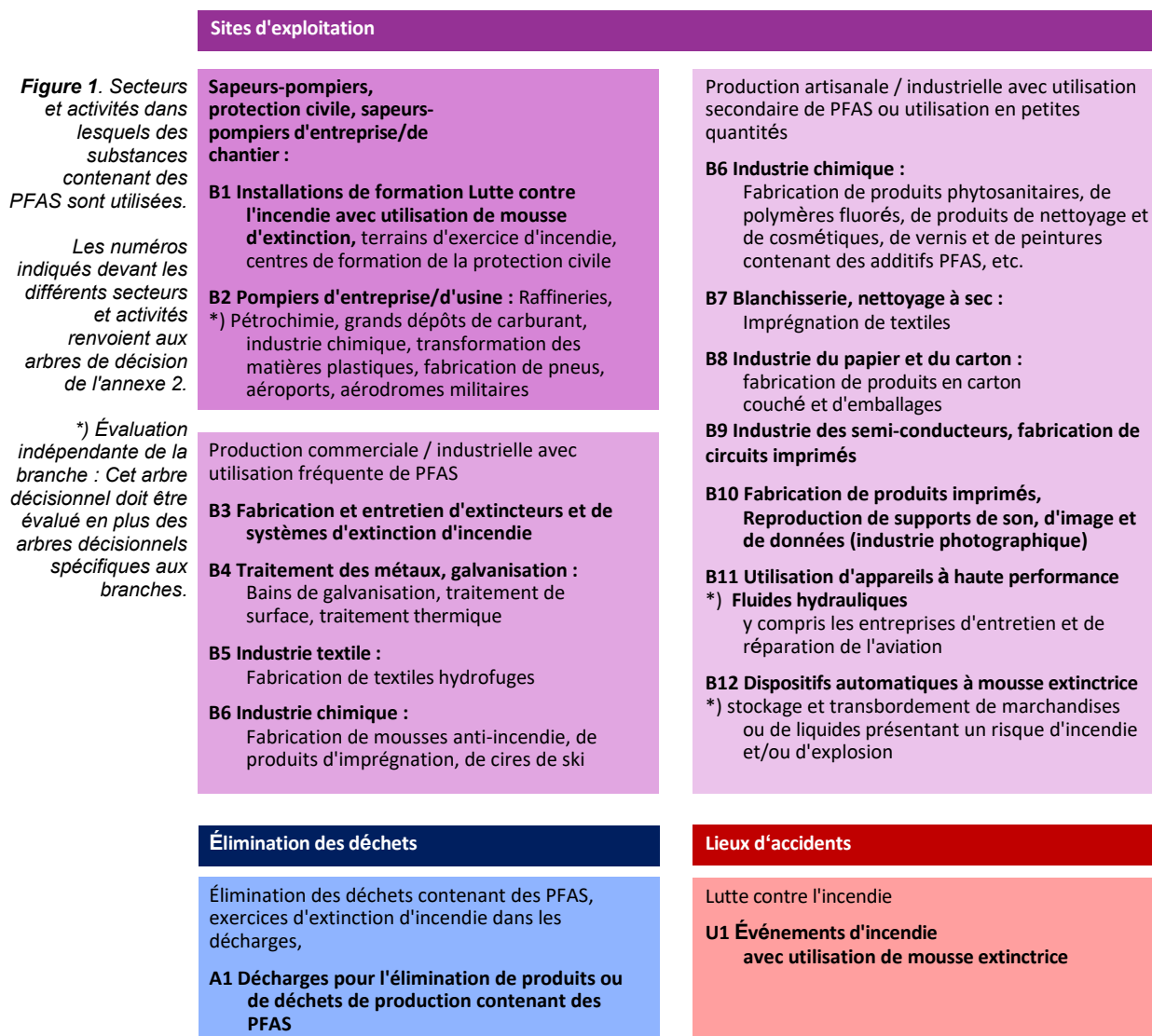
Art. 7 et 8 OSites

1.2 Objectifs

Ce document a pour but de fournir une aide pour déterminer si un site d'entraînement à la lutte contre les incendies, un site d'exploitation, un site de stockage de déchets ou un incendie doit être enregistré dans le cadastre des sites pollués au regard d'une éventuelle pollution par des PFAS.

2. Méthode

Dans les secteurs et activités mentionnés dans la figure 1, des substances contenant des PFAS sont utilisées depuis les années 1960.



La procédure de recensement des sites susceptibles d'être pollués par des PFAS à l'aide des arbres de décision de l'annexe 2 s'inspire des arbres de décision spécifiques aux branches de l'aide à l'exécution [3] pour l'établissement du cadastre des sites pollués.

Les installations d'entraînement à la lutte contre l'incendie utilisent souvent des mousses d'extinction contenant des PFAS. Ces installations d'entraînement peuvent entraîner des émissions importantes de PFAS : Arbre de décision B1.

Les arbres de décision B2 à B12 permettent d'évaluer les entreprises qui peuvent utiliser des PFAS dans les processus de production artisanaux et industriels.

Pour les dépôts de déchets et les incendies, des arbres de décision distincts ont été créés : arbres de décision A1, A2 et U1.

2.1 Les numéros de branche selon NOGA¹ et ASW²

Le code NOGA et l'ancien code ASW sont des codes de branche qui permettent de classer les "entreprises" et les "lieux de travail" en fonction de leur activité économique. Le NOGA et le code ASW ont été évalués et saisis par de nombreux services cantonaux lors de l'établissement du cadastre des sites pollués. Ces codes permettent de localiser les entreprises concernées par les PFAS dans les bases de données existantes.

2.2 Mousses extinctrices avec et sans PFAS

Le tableau suivant dresse la liste des mousses extinctrices contenant des PFAS et sans PFAS, qui doivent être considérées ([1]) :

- sur les terrains d'entraînement au feu [arbres de décision [A2, B1, B2],
- lors de la fabrication et de l'entretien d'extincteurs et d'installations d'extinction d'incendie (B3),
- dans les installations d'extinction automatique d'incendie [B12] et
- dans la lutte contre les incendies [U1]

Tableau 2.
Mousses
extinctrices
fluorées et non
fluorées ([1])

Liste non
exhaustive

Produits avec fluor	
AFFF	Mousse filmogène aqueuse
AFFF / AR	Mousse AFFF résistante à l'alcool
FP	Mousse fluoroprotéinique
FP / AR	Mousse FP résistante à l'alcool
FFFP	Mousse fluoroprotéinique filmogène

Produits sans fluor	
Class A	Mousse / Agent mouillant pour classe A
MBS	Agent mouillant multi-usage
P	Mousse protéinique
FFF	Mousse non fluorée
FFF / AR	Mousse FFF résistante à l'alcool

2.3 Questions spécifiques aux branches

Les arbres de décision de l'annexe 2 contiennent des questions sur les activités ou les processus de production dans lesquels les PFAS sont utilisés.

Les arbres de décision B2, B11 et B12 sont indépendants du secteur. Ils doivent être évalués en plus des arbres de décision spécifiques aux branches.

2.4 Fenêtre temporelle

La synthèse des PFAS a commencé dans les années 1950. Dès le début des années 1960, les PFAS ont été utilisés dans la production industrielle et commerciale. Les mousses extinctrices contenant des PFAS sont connues depuis 1963. Les PFAS ont été largement utilisés à partir du début des années 1970.

2.5 Évaluation

Les arbres de décision de l'annexe 2 conduisent à une inscription dans le cadastre des sites pollués si, dans la fenêtre de temps indiquée :

- des mousses extinctrices contenant des PFAS ont été utilisées ou,
- des processus de production artisanaux/industriels utilisant des PFAS ont été réalisés.

¹ Nomenclature générale des activités économiques

² Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige

S'il peut être prouvé que des mousses extinctrices contenant des PFAS n'ont pas été utilisées sur le site et qu'il n'y a pas eu de processus de production artisanale / industrielle utilisant des PFAS, il est possible de renoncer à une inscription dans le cadastre des sites pollués.

Cette évaluation ne concerne que le potentiel de pollution par les PFAS sur le site. Dans tous les cas, une inscription au cadastre sur la base d'autres circonstances pertinentes pour la pollution ou d'autres polluants reste sous réserve.

2.6 Besoin d'investigations supplémentaires sur les sites pollués aux PFAS

Les sites pour lesquels une inscription au cadastre des sites pollués est prévue selon les arbres de décision de l'annexe 2 doivent en général également être examinés dans le cadre d'une investigation préalable, notamment parce que les questions spécifiques aux branches ou à l'utilisation de substances contenant ou non des PFAS ne peuvent être vérifiées que par des enquêtes dans le cadre d'une investigation historique.

Art. 5 Abs.4 Bst. b
Osites

magma AG, Winterthur, 30.1.2023

Responsable du dossier : Reto Philipp, Dr sc. nat. ETH/SIA



Reto Philipp, Dr. sc. nat. ETH/SIA



Eike Kreikenbaum, Dipl.-Geograph

Version	Exposé correctif	Corrections	Contrôle final
V 0.1 (30.6.2022)	1.7.2022 / Cb	1.7.2022 / Ph	1.7.2022 / Ph
V 1.0 (8.12.2022)	28.11.2022 / OFEV	6.12.2022 / Ph	8.12.2022 / Ph
V 1.1 (30.1.2023)	16.1.2023 / OFEV	30.1.2023 / Ph	30.1.2023 / Ph

Membre
sia

MI'mbefole
USIC

Annexe 1 : Principes de base

Bases légales :

OSites Ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués
[Ordonnance sur les sites contaminés ; OSites]. - RS 814.680.

Bases liées au projet :

- [1] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich AWEL : PFAS-Merkblatt für Altlastenvollzug Kt. Zürich. - 9.6.2022, <https://www.zh.ch/de/umwelt/tiere/abfa11-rohstoffe/altlasten-belastete-standorte.htm1>.
- [2] Arcadis (2021) : Bases de décision pour l'exécution dans le cas de sites pollués par des PFAS en Suisse. Rapport d'experts sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement [OFEV]. - 12.7.2021, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/altlasten/publikationen-studien/studien.htm1>.
- [3] OFEFP (2001) : Etablissement du cadastre des sites pollués. - L'environnement pratique, VU-3411-F.

Annexe 2 : Arbres de décision spécifiques aux branches

*) Évaluation indépendante de la branche : cet arbre de décision doit être évalué parallèlement aux autres arbres de décision	A1	Élimination des déchets : Élimination des déchets contenant des PFAS	11
	A2	Gestion des déchets : Exercices d'extinction d'incendie dans les décharges	12
	B1	Installations de formation pour la lutte contre l'incendie avec utilisation de mousse extinctrice Terrains d'entraînement au feu, centres de formation de la protection civile	13
	B2	Pompiers d'entreprise/d'usine : Raffineries, pétrochimie, grands dépôts de carburant, industrie chimique, transformation des matières plastiques, fabrication de pneus, aéroports, aérodromes militaires	14
	B3	Fabrication et entretien d'extincteurs et de systèmes d'extinction d'incendie	15
	B4	Traitement des métaux, galvanisation : Bains de galvanisation, traitement de surface, traitement thermique, etc.	16
	B5	Industrie textile : fabrication de textiles hydrofuges	17
	B6	Industrie chimique : fabrication de mousses anti-incendie, de produits d'imprégnation et de produits de nettoyage. Produits chimiques, cires de ski, produits phytosanitaires, polymères fluorés, produits de nettoyage, etc. Et produits cosmétiques, vernis et peintures contenant des additifs à base de PFAS, etc.	18
	B7	Blanchisserie, nettoyage à sec : Imprégnation de textiles	19
	B8	Industrie du papier et du carton : Fabrication de produits en carton et d'emballages enduits	20
	B9	Industrie des semi-conducteurs, fabrication de circuits imprimés	21
	B10	Fabrication d'imprimés, reproduction d'enregistrements sonores et visuels et de supports de données (industrie photographique)	22
	B11	Utilisation de fluides hydrauliques haute performance , y compris les services d'entretien et de maintenance de l'aviation	23
	B12	Installations automatiques de mousse extinctrice : Stockage et transbordement de- des marchandises ou des liquides présentant un risque d'incendie et/ou d'explosion	24
	U1	Événements d'incendie avec utilisation de mousse extinctrice	25

A1 Élimination des déchets :

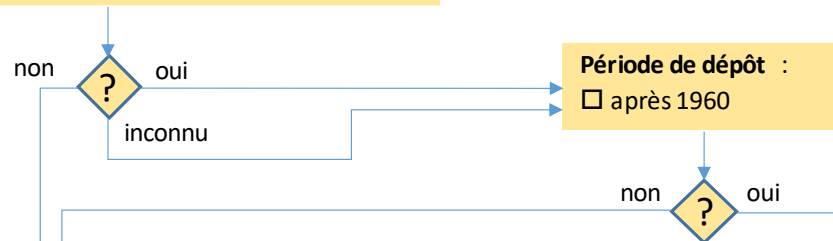
Élimination des déchets contenant des PFAS

ASW NOGA

8414 90.99 Stockage des déchets, décharge

Élimination des débris ou des déchets d'incendie :

- ☐ Des débris ou des déchets d'incendie ont -ils été ou seront-ils éliminés dans la décharge ?



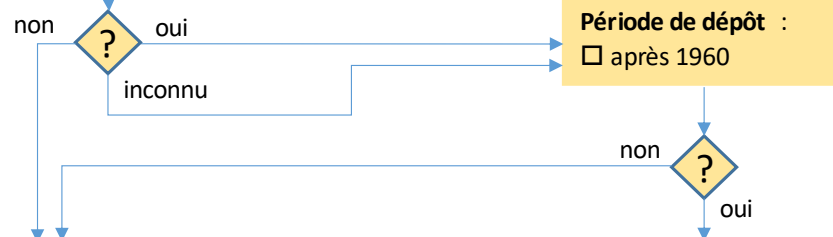
Élimination des déchets d'exploitation contenant des PFAS :

- ☐ Des déchets industriels contenant des PFAS ont -ils été ou sont-ils éliminés dans la décharge ?

Exemples :

- ☐ Boues de galvanisation
- ☐ Déchets de production contenant des additifs PFAS
- ☐ Déchets provenant de la production de produits en carton couché et d'emballages
- ☐ textiles hydrofuges, non-tissés, membranes
- ☐ ...

(liste non exhaustive)



Pas d'inscription au cadastre des sites pollués
en raison de l'utilisation et de l'emploi de PFAS
(sous réserve d'une inscription reposant sur d'autres critères pertinents de pollution)

Inscription dans le cadastre des sites pollués :
Besoin d'investigation (art. 5, al. 4, let. b, OSites)

A2 Gestion des déchets : Exercices d'extinction d'incendie dans les décharges

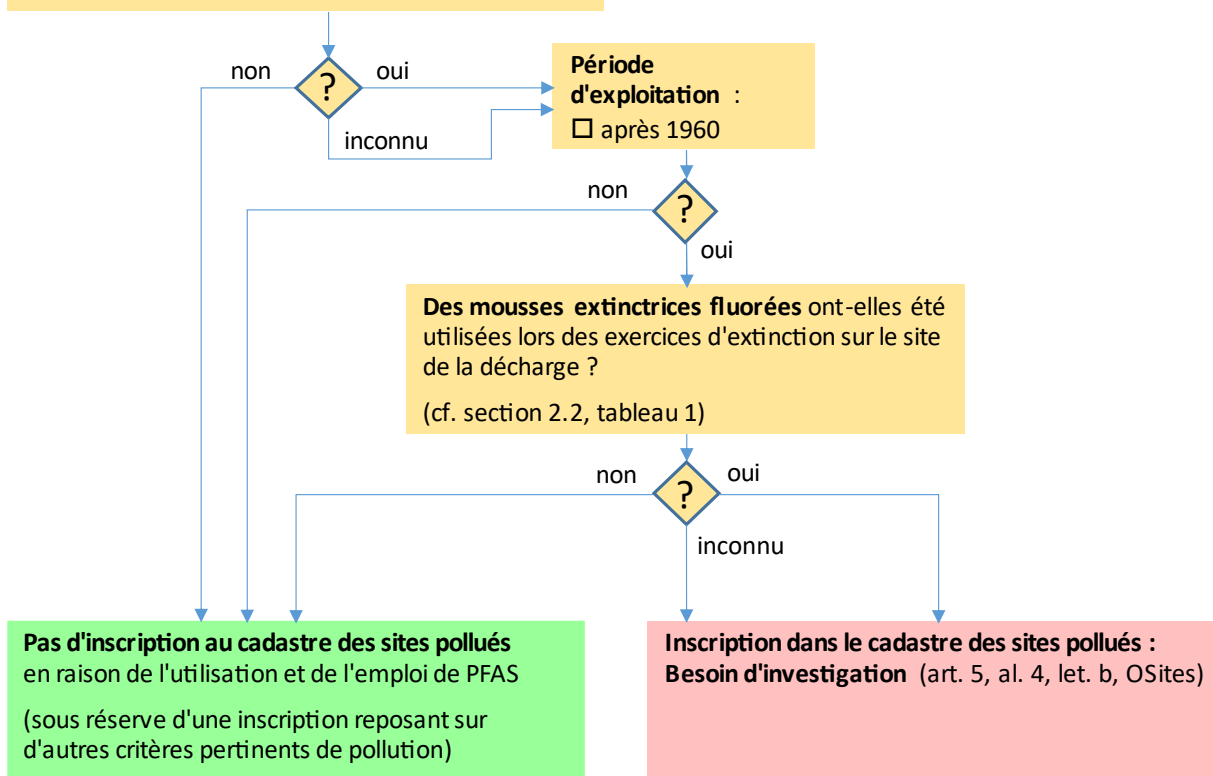
ASW NOGA

8414 90.99 Dépôt de déchets, décharge

9134 75.26 Installation d'exercice pour la lutte contre l'incendie

Formations / exercices de lutte contre l'incendie :

- ☐ Des formations ou des exercices de lutte contre l'incendie au cours desquels de la mousse d'extinction a été ou est utilisée se sont-ils déroulés ou se déroulent-ils sur la décharge ?



B1 Installations de formation pour la lutte contre l'incendie avec utilisation de mousse extinctrice

Terrains d'entraînement au feu, centres de formation de la protection civile

ASW NOGA

6455 62.55 Atelier pour extincteurs

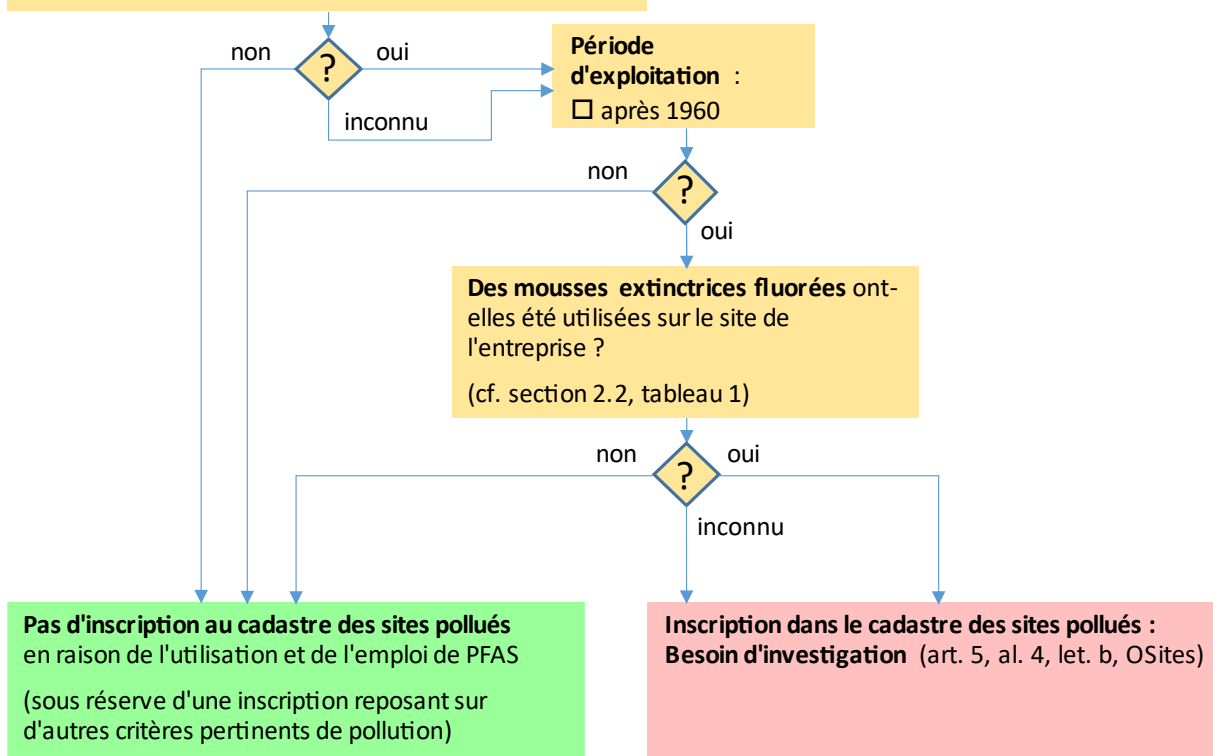
9133 75.25 Service d'incendie

9134 75.26 Installation d'exercice pour la lutte contre l'incendie

9142 75.22 Protection civile

Installation de formation/d'exercice pour la lutte contre l'incendie :

- ☐ Une installation de formation ou d'entraînement à la lutte contre l'incendie se trouvait-elle ou se trouve-t-elle sur le site de l'entreprise, sur laquelle de la mousse extinctrice a été ou est utilisée ?



B2 **Pompiers d'entreprise/d'usine :** Raffineries, pétrochimie, grands dépôts de carburant, industrie chimique, transformation des matières plastiques, fabrication de pneus, aéroports, aérodromes militaires

diverses branches, par exemple :

ASW NOGA

3140 23.20 Industrie pétrolière, traitement des huiles minérales

31 24 Industrie chimique

32 25 Fabrication d'articles en caoutchouc et en plastique

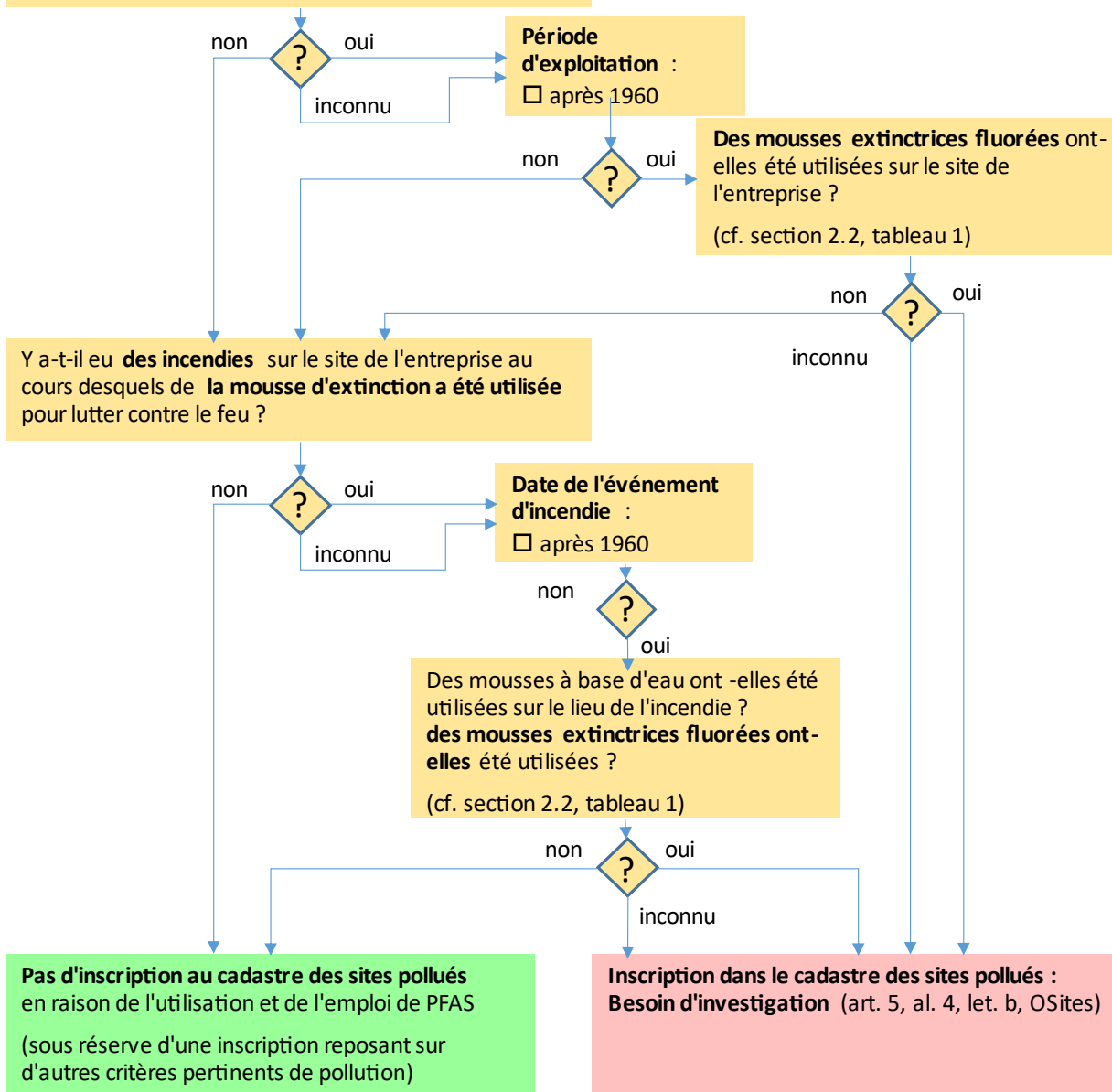
5194, 5195 51.51 Dépôts de carburant

644 62.4 Transport aérien

Évaluation indépendante de la branche : cet arbre de décision doit *en principe être* examiné pour toutes les entreprises qui disposent de leur propre service d'incendie d'entreprise/d'usine.

Installation de formation/d'exercice pour la lutte contre l'incendie :

- ☐ Une installation de formation ou d'entraînement à la lutte contre l'incendie se trouvait-elle ou se trouve-t-elle sur le site de l'entreprise, sur laquelle de la mousse extinctrice a été ou est utilisée ?



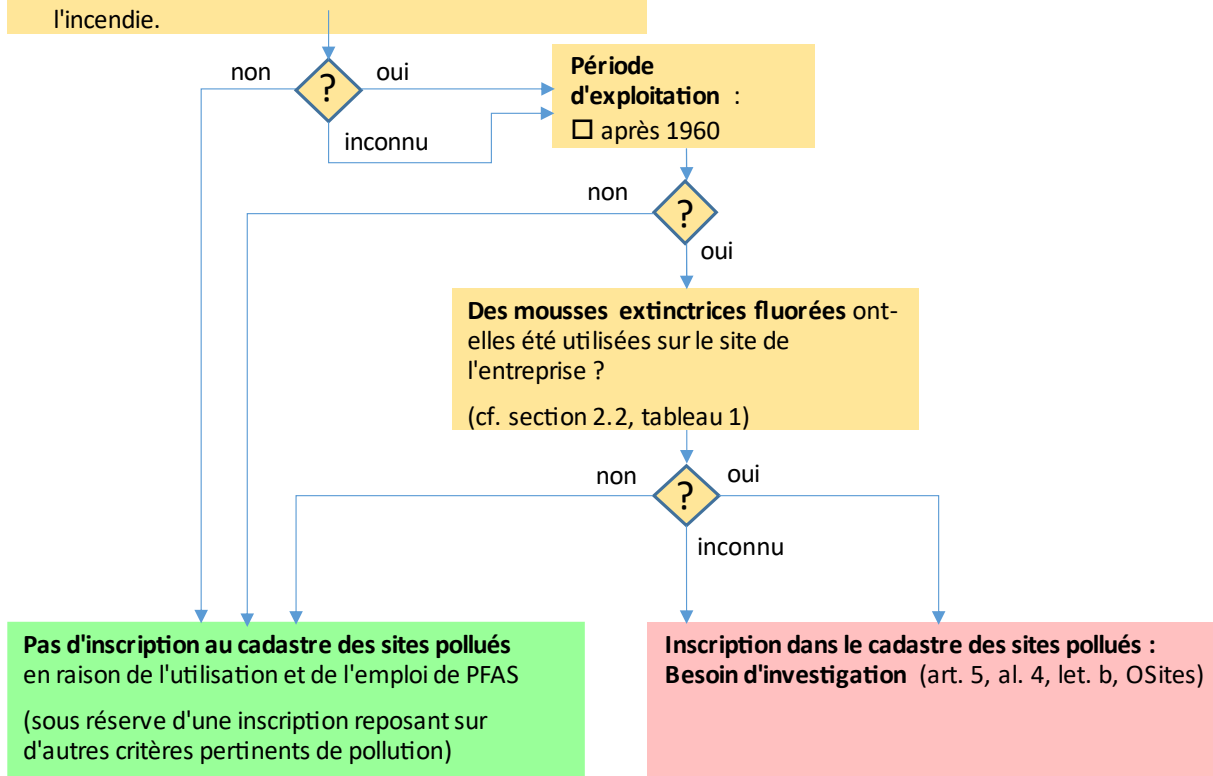
B3 Fabrication et entretien d'extincteurs et d'installations d'extinction d'incendie : Utilisation, manutention ou stockage de mousses anti-incendie

ASW NOGA

6455 62.55 Atelier pour extincteurs

Les **activités** suivantes ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Fabrication d'extincteurs ou de systèmes d'extinction d'incendie ,
- ☐ Démontage et entretien d'extincteurs ou de systèmes d'extinction d'incendie ,
- ☐ Remplissage d'extincteurs ou d'installations d'extinction d'incendie avec de la mousse extinctrice,
- ☐ Test des extincteurs ou des systèmes d'extinction d'incendie dans une installation de lutte contre l'incendie.



B4 Traitement des métaux, galvanisation

Bains de galvanisation, traitement de surface, traitement thermique

ASW NOGA

3443 28.51 Traitement de surface, trempe et traitement thermique

Les **activités** suivantes ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Chromage dur, chromage brillant, chromage au zinc,
- ☐ Cuivrage, nickelage, dorure,
- ☐ Etamage, mesure, galvanisation au palladium/rhodium,
- ☐ Galvanisation de polymères.

non ? oui
inconnu

Les **produits** suivants ont-ils été ou sont-ils utilisés sur le site de l'entreprise ?

- ☐ Agents anti-mousse,
- ☐ Agents mouillants,
- ☐ Inhibiteurs de brouillard.

non ? oui
inconnu

Période d'exploitation :
☐ après 1960

non ?
oui

Pas d'inscription au cadastre des sites pollués
en raison de l'utilisation et de l'emploi de PFAS
(sous réserve d'une inscription reposant sur d'autres critères pertinents de pollution)

Inscription dans le cadastre des sites pollués :
Besoin d'investigation (art. 5, al. 4, let. b, OSites)

B5 Industrie du textile : Fabrication de textiles hydrofuges

ASW NOGA

2414 24.70 Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques

2460 17.30 Ennoblement textile

2471 17.51 Fabrication de tapis et moquettes

2516 18.24 Fabrication de vêtements de sport et de loisirs

2517 18.21 Fabrication de vêtements de travail et de vêtements professionnels

2543 17.40 Fabrication d'autres articles textiles confectionnés

Les **textiles** suivants ont-ils été ou sont-ils fabriqués ou transformés sur le site de l'entreprise :

- ☐ Vêtements fonctionnels, vêtements de protection,
- ☐ Textiles pour chaussures,
- ☐ Textiles pour l'industrie automobile ou aéronautique,
- ☐ Textiles pour meubles rembourrés ou d'extérieur,
- ☐ Textiles de protection contre le soleil et la pluie,
- ☐ Tapis,
- ☐ Tentes,
- ☐ Textiles techniques et joints d'étanchéité pour l'industrie du bâtiment (par ex. non -tissés, membranes).

non ? oui
inconnu

Les **activités** suivantes ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Finition de surfaces,
- ☐ Imprégnation de textiles.

non ? oui
inconnu

Période d'exploitation :

☐ après 1960

non ?
oui

Pas d'inscription au cadastre des sites pollués
en raison de l'utilisation et de l'emploi de PFAS
(sous réserve d'une inscription reposant sur
d'autres critères pertinents de pollution)

**Inscription dans le cadastre des sites pollués :
Besoin d'investigation** (art. 5, al. 4, let. b, OSites)

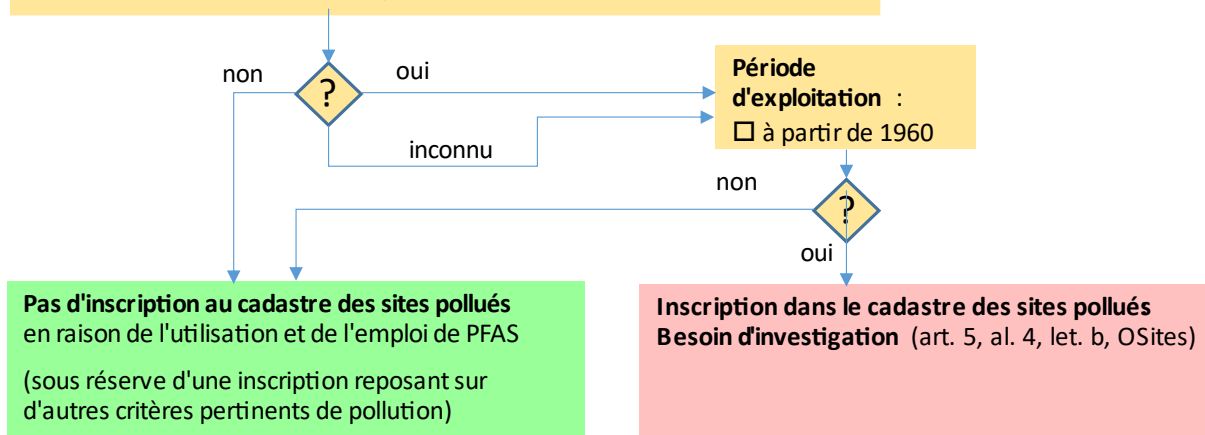
B6 Industrie des produits chimiques : Fabrication de produits chimiques

ASW NOGA

- 311 24.1 Fabrication de produits chimiques de base et intermédiaires
- 3113 24.16 Fabrication de matières plastiques de base
- 3134 24.66 Fabrication d'additifs pour plastiques
- 3122 24.12 Fabrication de colorants et de pigments
- 3123 24.30 Fabrication de peintures, d'encre d'imprimerie et de mastics
- 3125 24.51 Fabrication de savons, de détergents et de produits d'entretien
- 3127 24.52 Fabrication de parfums et de produits pour la toilette
- 3129 24.20 Fabrication de produits phytosanitaires
- 3135 24.6 Fabrication d'autres produits chimiques

Les **produits** suivants ont-ils été ou sont-ils fabriqués ou transformés sur le site de l'entreprise :

- ☐ Fluoropolymères : matières plastiques entièrement ou partiellement fluorées,
- ☐ Peintures avec additifs PFAS (peintures murales spéciales, encres, encres d'imprimerie),
- ☐ Produits d'entretien ménager, produits de beauté, parfums,
- ☐ Émulsifiants,
- ☐ Produits phytosanitaires,
- ☐ Mousse anti-incendie,
- ☐ Cires (y compris les cires de ski),
- ☐ Agents d'amélioration de surface, agents antimousse, agents mouillants,
- ☐ Produits d'imprégnation, sprays d'imprégnation,
- ☐ Produits d'étanchéité et de lubrification, fluides hydrauliques haute performance,
- ☐ Liquides de développement,
- ☐ Agents de surface pour l'extraction du pétrole,
- ☐ Additifs pour les batteries au lithium,
- ☐ Protection contre les flammes pour les résines PC.

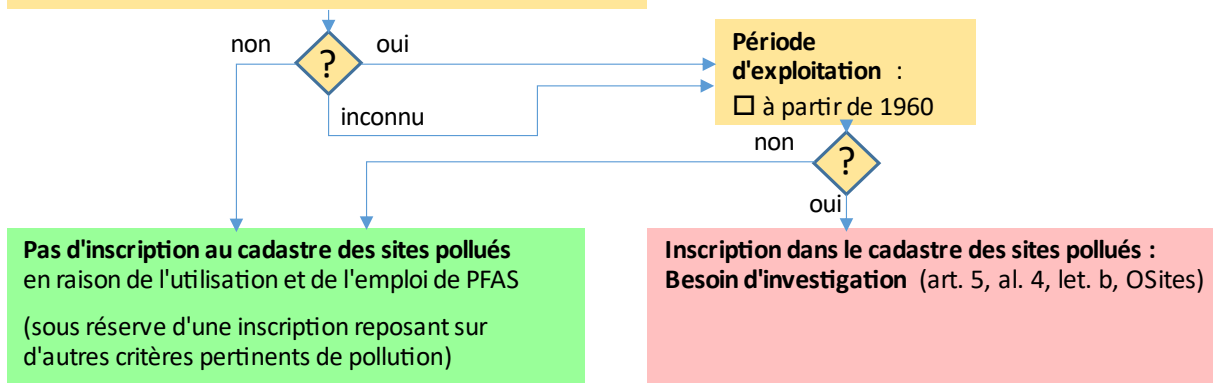


B7 Blanchisserie, nettoyage à sec : Imprégnation de textiles

ASW NOGA
7611 93.01A Blanchisserie
7612 93.01B Nettoyage à sec

Les **activités** suivantes d'imprégnation ou d'oléophobisation de textiles ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Vaporisation de produits d'imprégnation ,
- ☐ Imprégnation dans les salles de bains.



B8 Industrie du papier et du carton :

Fabrication de produits en carton et d'emballages enduits

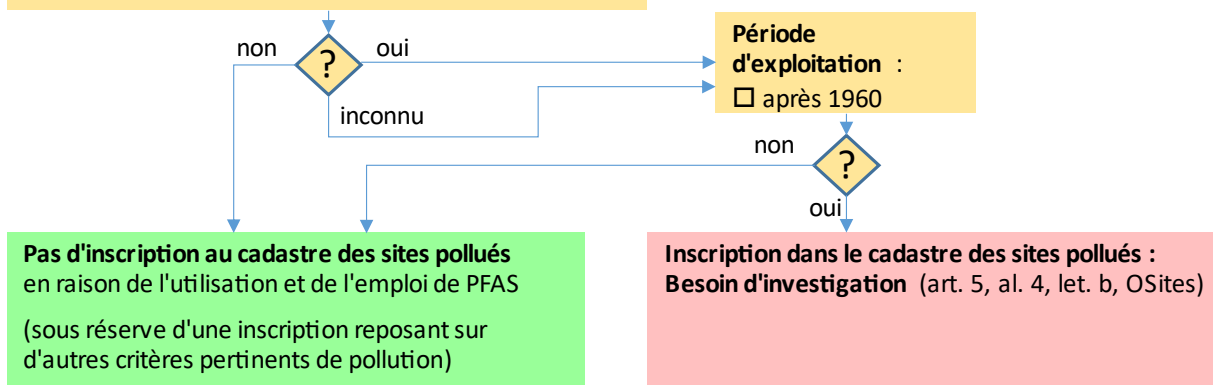
ASW NOGA

2712 21.12 Fabrication de papier et de carton

2721 21.24 Fabrication de papiers peints

Les **produits** suivants ont-ils été ou sont-ils fabriqués ou transformés sur le site de l'entreprise :

- ☐ Papiers de contact alimentaire hydrofuges/anti-graisse/anti-salissures, papiers de cuisson,
- ☐ Emballages alimentaires, emballages de boissons en carton traité en surface,
- ☐ Papiers peints ,
- ☐ Papiers spéciaux à surface traitée.



B9 Industrie des semi- conducteurs :

Utilisation de solutions et de vernis contenant des additifs à base de PFAS

ASW NOGA

361 32.1 à 33.4 Électrotechnique, électronique

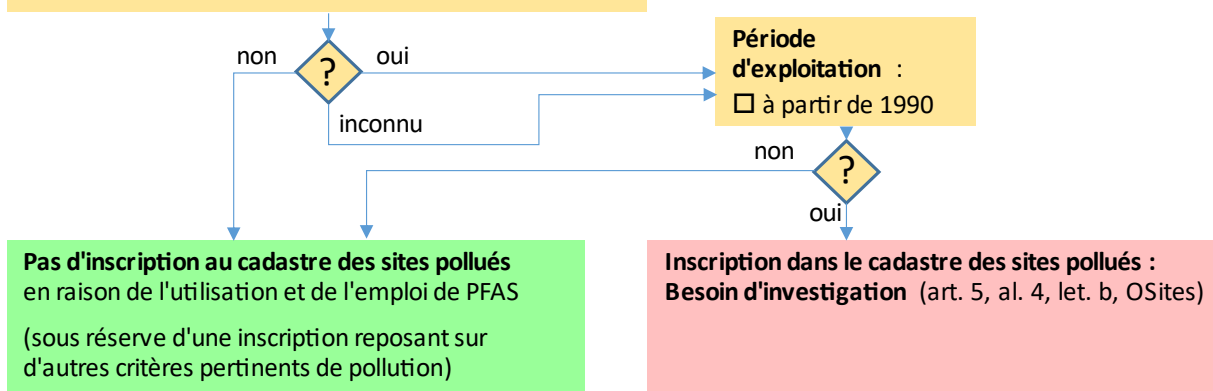
3622 32.10 Fabrication de composants électroniques

3623 22.24 Fabrication de matériel électrique

6454 62.54 Atelier de fabrication d'équipements électroniques ou optroniques

Les **activités** suivantes ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Fabrication de cartes électroniques,
- ☐ Fabrication de produits optiques par photolithographie.



B10 Fabrication de produits imprimés, Reproduction de supports de son, d'images et de données (industrie photographique) :

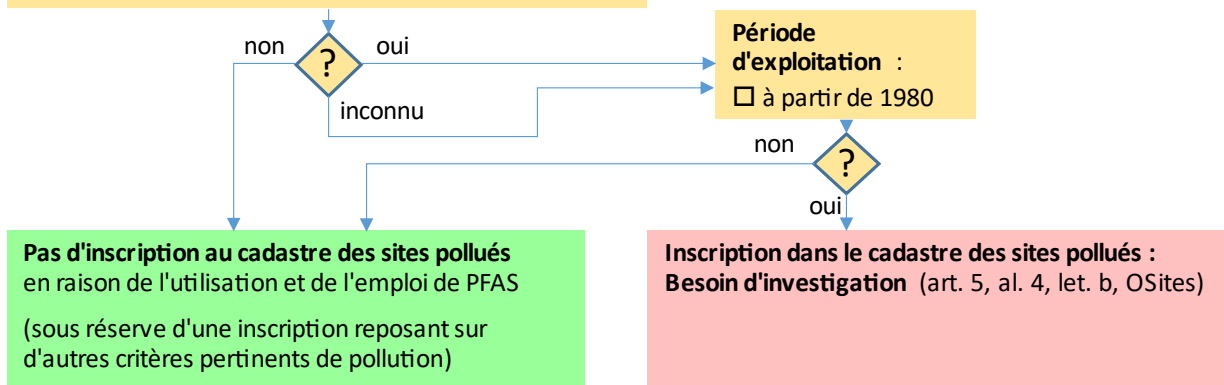
ASW NOGA

2812 22.24 Reproduction de photographies et de films

3830 22.24 Laboratoires de photographie et de cinématographie

Les **activités** suivantes ont-elles été ou sont-elles exercées sur le site de l'entreprise :

- ☐ Production de films,
- ☐ Fabrication de papier photo,
- ☐ Fabrication de plaques photographiques,
- ☐ Production de liquides de développement.



B11 utilisation de fluides hydrauliques hautes performances

y compris les entreprises de maintenance et de réparation de l'aviation

diverses branches, par exemple :

ASW NOGA

6451 62.51 Hangar pour la maintenance et l'entretien d'aéronefs

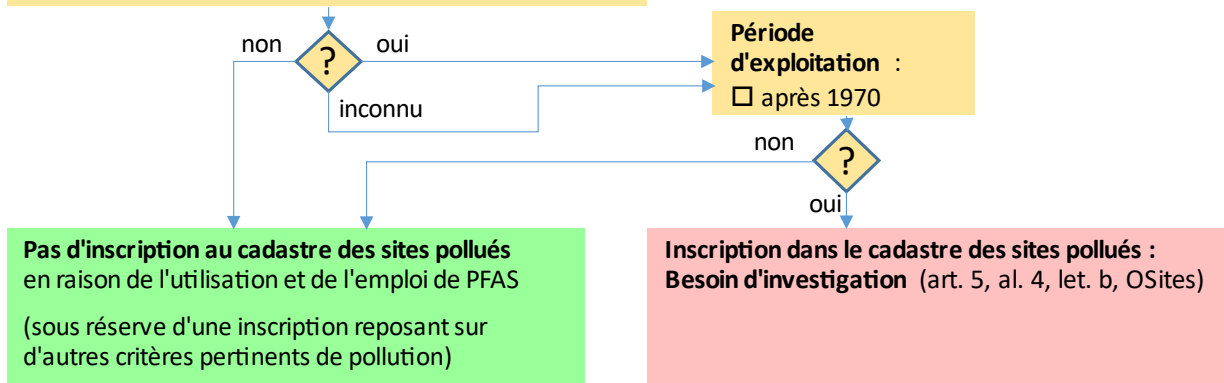
6453 62.53 Atelier pour travaux de maintenance et d'entretien

6456 62.56 Banc d'essai de turbines

Évaluation indépendante de la branche : cet arbre de décision doit *en principe* être examiné pour toutes les entreprises qui utilisent des fluides hydrauliques de haute performance.

Les **produits** suivants ont-ils été ou sont-ils utilisés, transbordés ou stockés sur le site de l'entreprise :

☐ Fluides hydrauliques de haute performance .



B12 Dispositifs automatiques à mousse extinctrice :

Zones de stockage et de transbordement de marchandises et de liquides présentant un risque d'incendie et/ou d'explosion

diverses branches, par exemple :

ASW NOGA

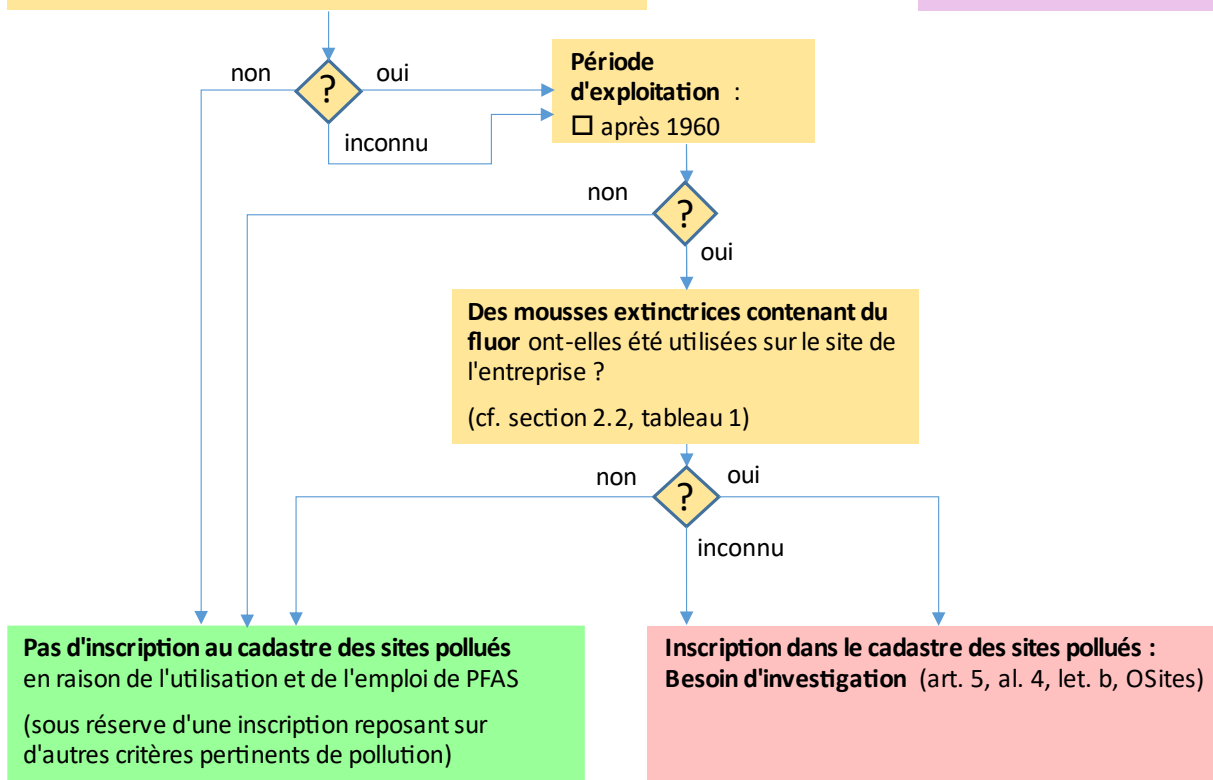
5192 51.51 Combustibles et carburants liquides, produits pétroliers

5193 51.51 Combustibles et carburants solides et liquides

Evaluation indépendante de la branche : cet arbre de décision doit *en principe* être examiné pour toutes les entreprises qui disposent d'un dispositif automatique à mousse extinctrice .

Dispositifs automatiques à mousse extinctrice :

- ☐ Un dispositif automatique à mousse extinctrice d'incendie a-t-il été ou est-il utilisé sur le site de l'entreprise ?



U1 Événement d'incendie avec utilisation de mousse extinctrice

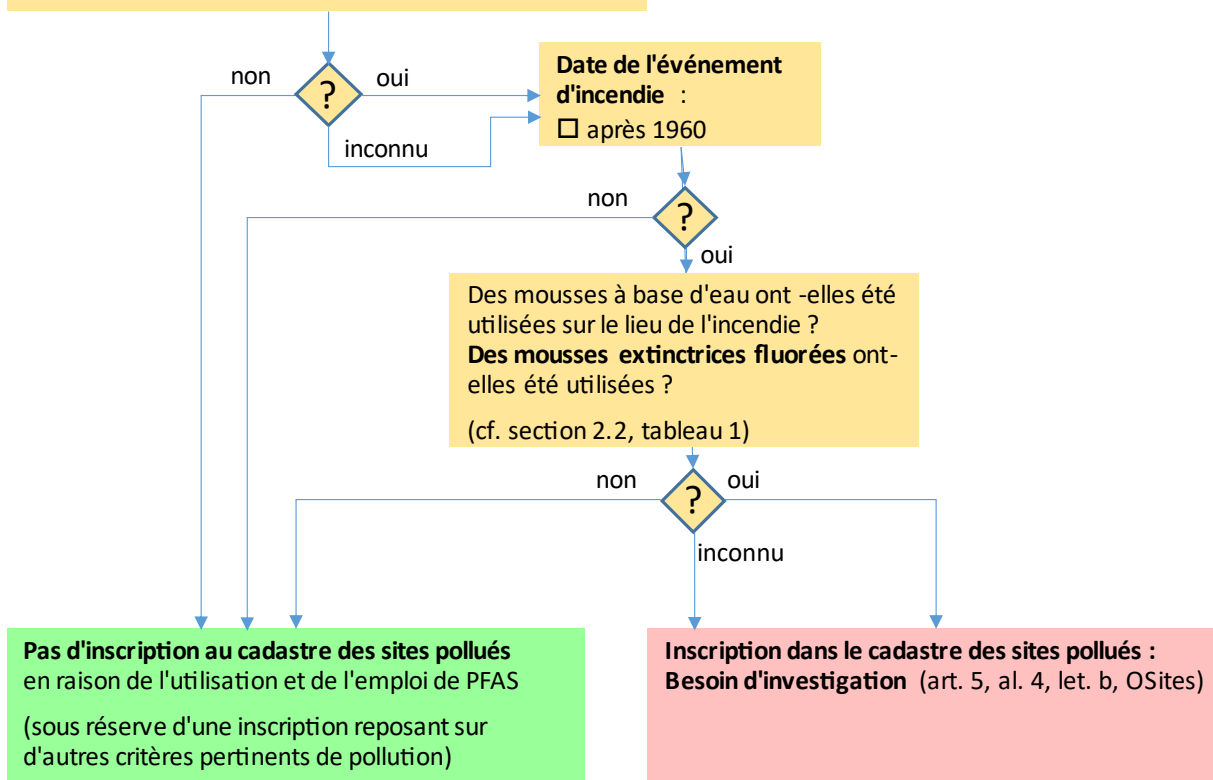
ASW NOGA

9811 98.11 Accident de la circulation, accident de transport

9812 98.12 Accident d'exploitation

Événement d'incendie, lutte contre l'incendie :

☐ De la mousse extinctrice a -t-elle été utilisée pour
lutter contre l'incendie ?



Annexe 4

Synthèse « Assainissement des sites contaminés par des PFAS », état au 04.08.2023

La compilation détaillée de la recherche documentaire (Excel) est disponible sur demande auprès de l'OFEV.

Assainissement des sites contaminés par des PFAS

Mise à jour : 04.08.2023

(Synthèse basée sur la littérature scientifique publiée depuis le rapport d'Arcadis [2021])

Disclaimer :

Ceci est un document des deux groupes de travail "Sites pollués" et "Déchets" du projet "PFAS dans le domaine des sites pollués". L'OFEV ainsi que des délégués de la CCE issus des services cantonaux chargés des sites pollués et des déchets étaient représentés dans les groupes de travail. Le contenu du document n'a pas la même valeur juridique qu'une aide à l'exécution de l'OFEV. Le document sert à des fins informelles. Il reflète l'état des connaissances au moment de sa rédaction et ne sera pas mis à jour.

Les méthodes d'assainissement des sites contaminés sont regroupées dans trois catégories selon les aides à l'exécution de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV, 2014) : 1) Décontamination, 2) Confinement, 3) Atténuation naturelle contrôlée. De nombreuses méthodes d'assainissement des sites contaminés par des PFAS sont encore en développement et n'ont été testées qu'en laboratoire sur des solutions synthétiques ou sur de petits volumes d'échantillons de sol ou d'eau contaminés. Plusieurs rapports détaillant l'état des connaissances sur les PFAS et les méthodes d'assainissement ont été publiés à ce jour (par ex. Arcadis, 2021, 2023 ; Statens Geotekniska Institut (Suède), 2022).

1. Études expérimentales / modélisations

1.1. Décontamination / Confinement – Immobilisation

De nombreuses études expérimentales ont été menées en laboratoire afin d'étudier l'efficacité et la faisabilité de différentes méthodes de décontamination et de confinement / immobilisation. En plus des méthodes de traitement conventionnelles (adsorption sur charbon actif, lavage de sol) :

- **Traitement du sol et du sous-sol :**
 - Immobilisation, stabilisation : injection d'un adsorbant (résine, minéraux, MatCARE™, RemBind™) ;
 - Stabilisation à l'aide de ciment + adsorbant, assainissement électrocinétique) ;
 - Phytoremédiation ;
 - Lavage du sol/sous-sol in-situ et ex-situ
- **Traitement des eaux souterraines :**
 - Adsorption : charbon actif, résine échangeuses d'ions, minéraux (argiles, zéolites), biomatériaux, nanomatériaux, polymères, fluorogels ioniques, PerfluorAd® ;
 - Filtration sur membrane (osmose inverse, nano- et ultrafiltration) ;
 - Pump and treat ;
 - Fractionnement par mousse in-situ (air, ozone) ;
 - Sonolyse (ultrasons) ;
 - Biodégradation ;
 - Oxydation / réduction avancée, photocatalyse ;
 - Procédés (photo)électrochimiques : électrocatalyse, oxydation électrochimique, électrocoagulation, « super critical water oxidation (SCWO) » ;
 - Phytoremédiation
 - Irradiation par plasma ;
 - Irradiation par faisceau d'électrons ou de rayons gamma ;
 - Micro-ondes

- **Procédés thermiques et mécaniques de destruction des PFAS**

- Incinération à haute température ;
- Désorption thermique ;
- Destruction mécanique (« ball milling »)

(pour les références, voir le tableau excel « Assainissement des PFAS_Publications récentes » (version 02.2023, version française)

1.2. Atténuation naturelle contrôlée (MNA)

Bien que cette méthode ne soit pas envisageable en raison de la persistance des PFAS dans l'environnement, quelques études ont été menées afin de déterminer le potentiel de la MNA dans le cas où d'autres méthodes ne soient pas applicables. Newell et al. (2021a, 2021b) présentent de directives pour appliquer la MNA au traitement de l'eau souterraine contaminée par des PFAS, ainsi que des bases scientifiques permettant de définir les caractéristiques des sites pour lesquels la MNA pourrait être une option d'assainissement seule ou combinée avec une autre technique.

2. Études pilotes ou à large échelle entre 2014 et 2022

2.1. Évaluation des méthodes de traitement de l'eau potable et de l'eau souterraine

Des études ont été menées afin de déterminer l'efficacité des méthodes de traitement utilisées dans les installations de traitement de l'eau potable pour l'assainissement des PFAS (Takagi et al., 2011 ; Appleman et al., 2014 ; Inyang & Dickenson, 2017 ; Boone et al., 2019 ; Belkouteb et al., 2020). L'étude réalisée par Tagaki et al. (2011) visait à déterminer l'évolution des concentrations en PFOA et PFOS dans des échantillons d'eau prélevés à chaque étape du traitement de l'eau potable (eau non traitée, sédimentation, filtration sur sable, traitement à l'ozone, filtration sur charbon actif, traitement au chlore) dans 5 installations de traitement de l'eau potable de la région d'Osaka au Japon. De même, Appleman et al. (2014) ont réalisé une étude grandeur nature afin d'évaluer 15 méthodes de traitement habituellement utilisées pour le traitement de l'eau potable dans 20 sources situées dans les états du Wisconsin (1), Oklahoma (1), Alaska (1), California (2), Alabama (1), Colorado (2), Ohio (1), Nevada (1), Minnesota (1) and New Jersey (9). Une autre étude a analysé des échantillons d'eau provenant de 25 stations de traitement de l'eau potable aux États-Unis (Boone et al., 2019).

Une étude grandeur nature a été également menée pendant deux ans de 2015 à 2017 par Belkouteb et al. (2020) afin d'évaluer l'efficacité du traitement de l'eau potable par adsorption sur des filtres de charbon actif en granulés (GAC) pour l'élimination des PFAS dans des échantillons d'eau prélevés dans une station de traitement de l'eau potable de la ville d'Uppsala (Suède). Inyang & Dickenson (2017) ont comparé la performance de sorption des PFAS par différents types de biochars ou charbons actifs en granulés à l'aide de tests en banc d'essai ou d'une étude pilote. Les effluents d'une installation de traitement des eaux usées de Las Vegas, et l'eau brute du lac Mead dans le sud du Nevada ont été utilisés pour les expériences de cinétique de sorption et/ou d'isotherme.

Quatre études pilotes ont été menées dans la région de Veneto (Nord-Est de l'Italie), où des micropolluants organiques poly- et perfluorés ont été retrouvés dans l'eau souterraine de zones industrialisées suite au rejet de PFAA par une usine fluorochimique. L'extension de la contamination est estimée à 200 km² (WHO, 2017). Trois études ont examiné l'efficacité des adsorbants (Conte et al., 2015 ; Zaggia et al., 2016 ; Bertanza et al., 2020), alors que la quatrième a cherché à déterminer l'efficacité d'une installation de phytoremédiation pour éliminer les PFAS dans l'eau (Ferrario et al., 2022). D'autres études avaient également mis en évidence la présence de PFAS dans la rivière Lambro près de Milan dans le bassin du Po (Castiglioni et al, 2015).

2.1.1. Adsorption sur charbon actif ou résines échangeuses d'ion

Les **méthodes « conventionnelles »** de traitement de l'eau potable – coagulation ferrique ou alun, micro-/ultrafiltration ou filtration granulaire, aération, oxydation (permanganate, UV/peroxyde d'hydrogène), et désinfection (ozonation, dioxyde de chlore, chloration, and chloramination) – n'ont montré **aucune efficacité** (Tagaki et al., 2011 ; Appleman et al., 2014 ; Boone et al., 2019), avec un taux d'élimination généralement < 44% (voire une augmentation des PFAS à chaîne courte par filtration sur berge ; Appleman et al., 2014). Par contre, la méthode d'adsorption sur résines échangeuses d'ions (ex. Purolite® FerriX A33E) ou de charbon actif (Norit 816 ou Calgon F300 et F600) a montré une bonne efficacité pour l'élimination des PFAS à chaîne longue (taux d'élimination > 67%), mais un remplacement du PFBA adsorbé par les PFAS à chaîne longue au cours du traitement ; Appleman et al., 2014).

L'efficacité du traitement par adsorption sur **charbon actif** est dépendante de l'âge des filtres et du flux d'opération : l'efficacité est plus élevée si le taux d'écoulement à travers le filtre est réduit (Belkouteb et al., 2020), ainsi que pour des filtres "jeunes/récents". Les filtres à charbon actif plus anciens (>1 an d'utilisation) ne montre plus aucune efficacité (taux d'élimination de 92 à 100% pour des filtres récents, diminuant dès 120 jours et s'abaissant à un taux inférieur à -100% au bout de plusieurs mois ; Tagaki et al., 2011 ; Belkouteb et al., 2020). Toutes ces études ont révélé la meilleure élimination des PFAS à chaîne longue et des PFSA par rapport aux PFCA par adsorption sur **résines échangeuses d'ion** ou charbon actif. Par contre, la filtration par **osmose inverse** a révélé une efficacité plus élevée car capable d'éliminer tous les PFAS analysés (taux d'élimination de > 47 à > 99%, mais souvent > 80%), quelque-soit la longueur de la chaîne carbonée (Appleman et al., 2014). Selon les résultats de l'étude menée par Inyang & Dickenson (2017), le charbon actif montre une plus grande efficacité d'élimination du PFOA et du PFOS que le biochar. L'affinité du biochar pour le PFOA s'est révélée plus élevée dans les eaux de surface que dans les eaux usées traitées.

Conte et al. (2015) et Zaggia et al., (2016) ont réalisé des études pilotes visant à déterminer l'efficacité d'élimination de quatre PFAS (PFBA, PFBS, PFOA et PFOS) dans l'eau potable à l'aide de différents adsorbants : **résines échangeuses d'ions** A600E, PAD500, PAD428, MN102 dans l'étude de Conte et al. (2015), **charbon actif en granulé** et résines échangeuses d'ion Purolite® A600E non hydrophobe, A520E faiblement hydrophobe, et A532E très hydrophobe dans l'étude de Zaggia et al. (2006). Les échantillons d'eau ont été prélevés près et dans plusieurs installations de traitement de l'eau potable de la région de Veneto, Italie. Les résultats ont montré une capacité d'adsorption diminuant selon l'ordre PFOS > PFOA > PFBS > PFBA, indiquant que le phénomène de sorption est influencé par la longueur de la chaîne et le pKa du PFAA. Les PFAS à chaîne longue sont mieux adsorbés sur les résines que les PFAS à chaîne courte. Toutes les résines présentent une grande efficacité d'élimination (95-100%) du PFOA et du PFOS à chaîne longue. Environ 95-100% du PFBS est éliminé par les résines MN102, A600E, A520E et A532E, alors que le PFBA n'est éliminé à >95% que par les résines A600E, A520E et A532E. Les études ont montré **une forte relation entre l'hydrophobicité du groupe fonctionnel d'échange de la résine et sa capacité à éliminer les PFAS** : la capacité de sorption des PFSA est meilleure que celle des PFCA. La capacité de sorption diminue avec le temps de traitement, les résines nécessitant ensuite d'être régénérées. Zaggia et al., (2016) ont montré que volume d'effluents de régénération nécessitant d'être incinérés est réduit de 96.5% si une **osmose inverse est couplée à l'évaporation sous vide** lors de la régénération. La résine A532E n'est régénérable que dans des conditions particulières en utilisant des solvants concentrés (méthanol, éthanol) et 1% NH₄Cl.

Bertanza et al. (2020) ont réalisé une étude grandeur nature dans une région affectée par une contamination de l'eau sur une surface de c. 200 km². L'étude a suivi l'évolution des concentrations en PFAS pendant cinq ans dans des échantillons d'eau provenant d'une installation de traitement de l'eau potable de la Région de Veneto. Lors du traitement de l'eau par du charbon actif, les PFAS ont atteint la percée dans l'ordre suivant : PFBA, PFPeA, PFHxA, PFBS, PFOA. Les auteurs ont ainsi observé une corrélation entre le comportement de percée des PFAS et la longueur de la chaîne C-F (percée des PFAS à chaîne courte avant les PFAS à chaîne longue), le type de tête hydrophile (percée des PFCA avant les PFSA), et les coefficients de partage n-octanol/eau logP et logD.

2.1.2. Injection de réactifs ou d'adsorbants dans un aquifère

Mc Gregor (2020) a réalisé une **étude pilote** visant à déterminer si l'injection de réactifs (peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , persulfate de sodium $Na_2S_2O_8$) ou **d'adsorbants (charbon actif en poudre, charbon actif colloïdal, biochar, résine échangeuse d'ions)** dans un aquifère sableux non confiné pouvait atténuer la concentration en PFAS en présence d'hydrocarbures pétroliers (site situé au centre du Canada). Les réactifs ou adsorbants ont été injectés dans six sites différents de la zone perméable réactive. Les concentrations en PFAS de l'eau souterraine étaient de 24000 µg/L PFPeA, max. 6200 µg/L acide pentafluorobenzoïque, max. 16100 µg/L PFHxA, max. 6080 µg/L PFHpA, max. 450 µg/L PFOA, et max. 140 µg/L PFNA. Les eaux souterraines ont ensuite été échantillonnées pendant 18 mois. Selon les résultats, **aucune efficacité du persulfate de Na et du peroxyde d'H** n'a été observée, alors que les concentrations en PFAS dans l'eau traitée à l'aide des **4 adsorbants** se situaient **sous la limite de détection**. Une percée partielle à complète des PFAS sur la période de 18 mois a été observée, sauf pour le charbon actif colloïdal. Après injection, le **charbon actif colloïdal** se retrouve uniformément réparti dans la zone cible de l'aquifère, alors que le charbon actif en poudre et le biochar, sont préférentiellement répartis dans une fine couche de sable grossier.

2.1.3. Phytoremédiation

Ferrario et al. (2022) ont réalisé une **étude pilote** d'une installation de phytoremédiation de l'eau d'un puits contaminé aux PFAS de Lonigo (Région de Veneto) à l'aide de roseaux *Phragmites australis*. Cette étude souhaitait mettre en évidence le potentiel de la phytoremédiation pour le traitement des eaux polluées aux PFAS. Les roseaux ont absorbé des concentrations de PFAS allant jusqu'à 13 ng/g. L'absorption par les plantes augmente avec le temps d'exposition (2.5 ng/g pour les roseaux coupés après 6 mois, et 13 ng/g pour les roseaux coupés 16 mois après le début de l'assainissement). La phytoremédiation a permis de diminuer le flux de masse des PFAS de 30 à 50%, cette réduction ne montrant aucune dépendance avec les caractéristiques physico-chimiques des différentes substances. Les résultats ont aussi montré qu'une concentration plus élevée en PFAS dans l'eau améliore l'efficacité d'élimination en favorisant l'absorption par les plantes. La phytoremédiation est un procédé prometteur et durable, mais nécessite d'être suivie par l'incinération à haute température des roseaux contaminés pour éliminer durablement les PFAS.

2.1.4. Surface-Active Foam Fractionation®

L'efficacité de la technique SAFF (« Surface-Active Foam Fractionation® ») pour le traitement de l'eau contaminée par des PFAS a été évaluée par Burns et al. (2021, 2022) au cours de deux **études pilotes**. La première étude (Burns et al., 2021) a appliqué la méthode SAFF pour le traitement de l'eau souterraine sur un site de l'Australian Department of Defence at the Army Aviation Centre Oakey. La deuxième étude a réalisé un essai sur site à l'échelle commerciale de l'efficacité de la méthode SAFF pour l'assainissement des PFAS dans un captage du lixiviat de l'installation « Telge Recycling plant » en Suède, où 23 campagnes d'échantillonnage ont été menées sur 10 mois afin d'analyser les concentrations en PFAS des influents et effluents. 80000 m³ de lixiviat ont été traités sans nécessiter de pré-traitement. La méthode SAFF ne nécessite ni réactif chimique, ni milieu adsorbant, bien qu'un traitement supplémentaire à l'aide d'une résine échangeuse d'ion permet d'éliminer toutes les traces détectables de PFAS (Burns et al., 2021). L'ampleur de l'élimination des PFAS est corrélée avec le coefficient d'adsorption des molécules à l'interface gaz-liquide. Si celui-ci est supérieur à 1.0×10^{-6} m, presque tous les PFAS sont éliminés.

Les PFAS à chaîne longue sont plus facilement éliminables que les PFAS à chaîne courte, qui présentent des coefficients d'adsorption plus bas. La présence d'électrolytes dissous typique des eaux souterraines « dures » du site australien (Burns et al., 2021) est censée améliorer les coefficients d'adsorption, et donc l'efficacité de la SAFF dans les eaux de rejet d'osmose inverse saumâtres et salines. Sur le site australien, la technique SAFF a montré une efficacité d'élimination de $\geq 99.5\%$ des agrégats de PFOS, PFHxS et PFOA (Burns et al., 2021). Sur le site suédois, la technique SAFF a montré des résultats similaires, avec une efficacité d'élimination $\geq 98.7\%$ pour le PFOS, $\geq 99.7\%$ pour le PFOA et $\geq 98.8\%$ pour le PFHxS. Les concentrations moyennes du lixiviat traité étaient de ≤ 2.34 ng/L PFOS, ≤ 1.28 ng/L PFOA, et ≤ 1.00 ng/L PFHxS; avec l'objectif de réduire la concentration en PFOS à < 50 ng/L (Burns et al., 2022). Les résultats des **deux études prouvent que la technique**

SAFF est efficace, même pour des lixiviats ayant une composition chimique complexe, et ne montre aucune dépendance avec les conditions climatiques.

2.1.5. Procédés d'ozonation

Une autre **étude pilote** portant sur le **traitement de l'eau potable** a été réalisée par Franke et al. (2019) afin d'évaluer l'efficacité de la méthode "Advance ozonation processes", basée sur la méthode "Heterogeneously catalysed ozonation". Une étude en laboratoire a préalablement démontré la meilleure efficacité d'une combinaison d'ozone, de persulfate et d'un catalyseur pour l'élimination des PFAS dans l'eau. Les résultats de l'étude pilote montrent que la concentration en 18 PFAS diminue significativement en trois heures de traitement, en appliquant la combinaison déterminée en laboratoire. L'efficacité d'élimination des PFAS varie en fonction de la longueur de la chaîne fluorocarbonée indépendamment du groupe fonctionnel, avec des taux d'élimination de 98%, 64% et 55% pour les PFAS C7-C11, C12-C17 et C4-C6, respectivement. Selon les auteurs, cette technique pourrait facilement être mise en œuvre dans le cadre d'un train de traitements des eaux, mais en tenant compte de la production potentielle de produits de transformation toxiques.

2.2. Assainissement du sol et du sous-sol contaminé par des PFAS

Plusieurs méthodes ont récemment été employées pour l'assainissement des sols pollués lors d'études pilote ou grandeur nature : lavage du sol ex-situ (Høisæter et al., 2021 ; Grimison et al., 2022 ; Quinnan et al., 2022), lavage du sol in-situ (Høisæter et al., 2021), phytoremédiation (Gobelius et al., 2017), immobilisation par stabilisation et solidification (Söregård et al., 2019, 2021).

2.2.1. Phytoremédiation

Gobelius et al. (2017) ont évalué l'efficacité de la phytoremédiation sur les concentrations en 26 PFAS du sol et de l'eau souterraine contaminés par des AFFFs ($\Sigma 26$ PFAS de 16-160 ng/g et 1200-34000 ng/L, respectivement) sur un site d'entraînement pour la lutte anti-incendie à l'aéroport Arlanda de Stockholm (Suède). Des échantillons des différents tissus ont été prélevés (racines, troncs/cœurs, brindilles, feuilles/aiguilles) sur différents arbres et arbustes (bouleau argenté, épicéa, merisier, sorbier, églantine, fraise des bois). Les analyses ont donné des concentrations en PFAS des plantes et des facteurs de bioconcentration (rapports plante/sol) très variables et plus élevées dans les parties végétatives. Ainsi, les auteurs ont déterminé qu'un système de coupe progressive avec des peuplements mixtes de bouleau argenté et d'épicéa + récolte régulière des feuilles et de la sève de bouleau + un sous-étage d'églantine, pourrait potentiellement éliminer 1.4 g/an de $\Sigma 26$ PFAS par hectare de site contaminé. Les auteurs proposent des approches alternatives : 1) taillis de bouleaux + sous-étage d'églantine, permettant d'éliminer 0.65 g/an/ha de $\Sigma 26$ PFAS, ou 2) simple prairie avec de l'églantine pouvant éliminer 0.55 g/an/ha de $\Sigma 26$ PFAS.

2.2.2. Lavage du sol

Deux études récentes (Grimison et al., 2022 ; Quinnan et al., 2022) ont cherché à déterminer la performance des installations de lavage de sol (excavé, sur site) pour l'assainissement de sols pollués par des PFAS (teneur en PFOS élevée) en raison de l'utilisation de mousses AFFF en Australie du Sud (Grimison et al., 2022) et aux États-Unis (Eielson Air Force Base à Fairbanks, Alaska ; Quinnan et al., 2022). Quinnan et al. (2022) ont séparé les fractions grossières du sol (sable, gravier) sur site et séparé les fractions fines (argile, silt) pour les traiter ultérieurement (mise en décharge, désorption thermique, stabilisation) et minimiser la production de déchets. Le traitement du sol a nécessité l'emploi d'eau, mais aussi d'additifs, de tensioactifs et de méthodes physiques afin d'atteindre les objectifs de traitement visés. Grimison et al. (2022) ont utilisé le procédé SourceZone® développée par Ventia Services Pty Ltd (Sydney Australie) et CleanEarthTechnologies Inc. (Halifax, Nova Scotia, Canada). Aucun solvant n'a été employé pour le lavage du **sol contaminé riche en argiles (2200 t)**. Le sol traité contenait une masse totale de 7330 g de PFAS avant traitement, distribuées entre les différentes fractions (gravier, sable, fine). Après traitement, 71 ± 29 % de la masse initiale de PFAS dans le sol ont été désorbés dans

la solution de lavage. Après lavage, **l'eau de traitement contaminée a été** filtrée (charbon actif en granulés, résines échangeuses d'ions). 90% des PFAS du sol ont pu être transférés dans la solution de lavage et >99.9% des PFAS de la solution ont été ensuite filtrés par le charbon actif. Au total, l'efficacité d'élimination a atteint 97.1% pour les PFCAs et 94.9% pour les PFSA. La fraction résiduelle de PFAS était plus élevée dans les argiles que dans les graviers et les sables, les graviers retenant plus de PFAS en raison de la présence d'autres types de particules (ex. agrégats argileux).

Une efficacité de traitement similaire a été obtenue par Quinnan et al. (2022) pour le PFOS : gravier (98.1-94.6%) > sable (96.1-88.6%) > fraction fine (61.8 à -7.7%). Néanmoins, le but d'assainissement de >99% PFAS n'a été atteint en une fois uniquement pour la fraction grossière. Les fractions fines pouvant retenir plus de PFAS, deux ou trois phases de traitement ont été nécessaires. L'efficacité de traitement a permis de pouvoir réutiliser le sol traité sur place, les fractions fines pouvant aussi être réutilisées si les concentrations en PFAS après traitement sont inférieures aux objectifs visés (Quinnan et al., 2022). Selon Grimison et al. (2022), **l'efficacité d'élimination des PFAS est indépendante de la concentration dans le sol**, mais dépendante de la chimie des PFAS (groupe fonctionnel, longueur de chaîne carbonée) : les PFAS à chaîne longue (>C8) sont moins bien transférés dans l'eau de lavage car moins mobiles que les PFAS à chaîne courte, bien qu'une petite quantité pourrait subsister dans les sols traités.

L'effet des paramètres du sol sur la sorption in situ des PFAS dans un sol historiquement contaminé par l'utilisation de mousses AFFF a été étudié à l'aide de **tests de sorption** lors d'une étude expérimentale (Hubert et al., 2023). Les résultats ont montré que : 1) la valeur Kd pour les différentes fractions de sol augmente avec la diminution de la taille des grains (fractions de 8 mm à <0.063 mm) et l'augmentation de la teneur en carbone organique, 2) la fraction granulométrique et leur composition minérale influencent la sorption des SPFO dans le sol, et 3) les sols à grains plus grossiers conviennent mieux au lavage des sols, tandis que les fractions à grains grossiers (gravier) et les fractions à grains fins (argiles, limons) devraient être séparées pour optimiser le processus de lavage des sols.

Høisæter et al. (2021) ont comparé les **méthodes de lavage du sol in-situ** et par excavation lors d'une étude pilote menée sur un site pollué par l'utilisation de mousses AFFF pour l'entraînement de lutte contre les incendies (35 km au nord-est d'Oslo, Norvège). Le sol/sous-sol est sablonneux, la zone vadose s'étendant jusqu'à une profondeur de 3-4 m. L'installation de lavage de sol in-situ a été couplée à un système de « Pump and Treat » déjà en place : l'eau pompée dans la zone saturée est traitée par charbon actif puis réinfiltrée dans le sol à l'aide d'un tuyau perforé en amont du système de pompage. L'eau percole ensuite dans la zone vadose en lessivant les PFAS du sol/sous-sol et les transporte jusqu'à l'eau souterraine qui sera à nouveau pompée en aval. 23-73% du PFOS a pu être éliminé lors de l'arrêt du lavage in-situ (11-62% par lavage ex-situ), mais les auteurs suggèrent que l'objectif de 100% de PFOS éliminé pourrait être atteignable en augmentant le temps de lavage.

Dans une étude expérimentale, Senevirathna et al. (2021) ont proposé un procédé similaire pour l'assainissement in-situ des sols contaminés par du PFOS selon les étapes suivantes : rinçage du sol avec solvant, pompage de l'eau souterraine, récupération du solvant et traitement de l'eau contaminée au PFOS. Contrairement à l'étude pilote réalisée par Høisæter et al. (2021) qui n'ont utilisé que l'eau souterraine, les auteurs ont observé que plus de 98% du PFOS pouvait être éliminé en employant une solution de rinçage avec un volume de lit de 50% d'éthanol ajouté à de l'eau. Après récupération de l'éthanol, le PFOS a été éliminé de l'eau pompée de manière efficace par les résines PFA694E, K6362, MP 62, Amberlite IRA 67 et Dowexoptopore V493. Les auteurs ont ensuite proposé un site en Australie pour tester la méthode à grande échelle.

Récemment, une étude sur site (à l'aide d'une cellule d'essai) a déterminé l'effet du lavage in-situ d'un sol pollué par l'utilisation de mousses AFFF sur l'élimination de la masse des PFAA du sol/sous-sol de la zone non saturée et leur lessivage dans l'eau interstitielle (Schaefer et al., 2023). L'évolution de la concentration en PFAA dans l'eau interstitielle en fonction de l'élimination de la masse de PFAA a été suivie à l'aide de lysimètres, au moment où le lavage était mis en pause par intermittence. Les auteurs ont observé que la diminution fractionnée des concentrations en PFAAs dans l'eau interstitielle au cours de lavage était plus importante que la diminution fractionnée de l'élimination de la masse de PFAAs du sol/sous-sol : par exemple, la concentration en PFOS de l'eau interstitielle a diminué de 76%, mais seulement 7.4% de la masse du PFOS a été éliminée du sol. Schaefer et al. (2023) suggèrent qu'il serait possible d'appliquer des critères moins stricts pour l'assainissement du sol

que ceux qui impliquent une équivalence entre l'élimination de la masse de PFAS du sol/sous-sol et leur rejet par lixiviation. Ainsi, l'élimination d'une fraction modeste de PFAAs (surtout PFSA >C6) du sol/sous-sol permettrait déjà de protéger l'eau souterraine.

2.2.3. Immobilisation par stabilisation et solidification

Söregård et al. (2019, 2021) ont publié deux études afin d'évaluer la technique d'assainissement par stabilisation et solidification à l'aide d'études expérimentales en laboratoire et d'une étude pilote. Dans la première étude (expérimentale), les auteurs ont cherché à déterminer le potentiel d'immobilisation des PFAS dans un ancien sol contaminé aux PFAS (avec ajouts de traceurs artificiels) avec ou sans additifs. 14 substances PFAS ont été examinées (C3-C10 PFCAs ; C4, C6 et C8 PFSA ; FOSA ; 6:2 et 8:2 FTSA). Afin de comparer le comportement de sorption de 7 additifs, chaque substance a été ajoutée à une matrice composée de ciment, cendres et scories : charbon actif, zéolite en poudre, Rembind®, hydrotalcite, bentonite, chitosan et chlorure de calcium (concentration de l'additif de 2%). Les résultats ont montré une réduction du lessivage pour 13 des 14 PFAS mesurés (à l'exception du PFBA) de 70% et 94% avec ajout de charbon actif et de Rembind®, respectivement. 99.9% des PFAS à chaîne longue (ex. PFOS) ont été stabilisés lors de tous les traitements utilisant ces deux additifs. Ainsi, l'efficacité d'immobilisation dépend de la longueur de la chaîne fluorocarbonée et du groupe fonctionnel : l'efficacité augmente de 11-15 % par groupe CF₃ et est plus élevée de 49% pour les PFSA par rapport aux PFCAs.

Dans la deuxième étude, Söregård et al. (2021) ont comparé le taux de lessivage de 18 substances PFAS (C4-C11 PFCAs, C4, C6 et C8 PFSA, 6:2 et 8:2 FTSA, C8-FOSA et C8-FOSAA) lors de tests en laboratoire ("batch and monolith leaching tests") puis d'une étude pilote reproduisant des conditions proches de la réalité. Des échantillons de sol (30% sable, 28% silt/limon, 42% argile) ont été prélevés sur un site contaminé par des AFFF à Uppsala (Suède), identifié comme une zone à risque de contamination pour l'eau potable. 3 tonnes de sol contaminé traité (avec un rapport de 15 % de liant (ciment) et 0,2 % de charbon actif en granulés pour 85% de sol) et 3 tonnes de sol non traité ont été soumises à des conditions simulant 6 ans de précipitations naturelles, afin de prédire l'efficacité de la méthode à long terme. Le taux d'élimination des PFAS du lixiviat a atteint > 97% pour les PFHxA, PFOA, PFHxS et PFOS, mais seulement < 3% pour le PFPeA à chaîne courte. La valeur K_d a augmenté au cours du temps de 2 à 40 fois, à des niveaux plus hauts dans l'étude pilote que dans l'étude en laboratoire. Un "screening" (> 3000 PFAS) a également été effectué afin d'identifier l'effet de la méthode d'assainissement sur les PFAS non identifiés. Du FHxSA et du 3:2 FTOH ont été identifiés, mais avec un taux d'élimination bas (-13 et 11%, respectivement). L'intensité faible du FHxSA liée à une grande incertitude peut expliquer le taux d'élimination négatif apparent. Par contre, le 3:2 FTOH possède une chaîne fluorocarbonée courte (C3), confirmant la faible efficacité de la méthode pour l'immobilisation des PFAS à chaîne courte observée pour les PFCAs.

Le rapport d'Arcadis (2021) présente les différentes méthodes identifiées pour l'assainissement des eaux souterraines selon le stade de développement et la faisabilité des mesures (figure 1 ci-dessous). Certaines méthodes pourraient ne pas s'imposer sur le marché en raison des coûts élevés et de l'impact environnemental qu'elles pourraient générer.

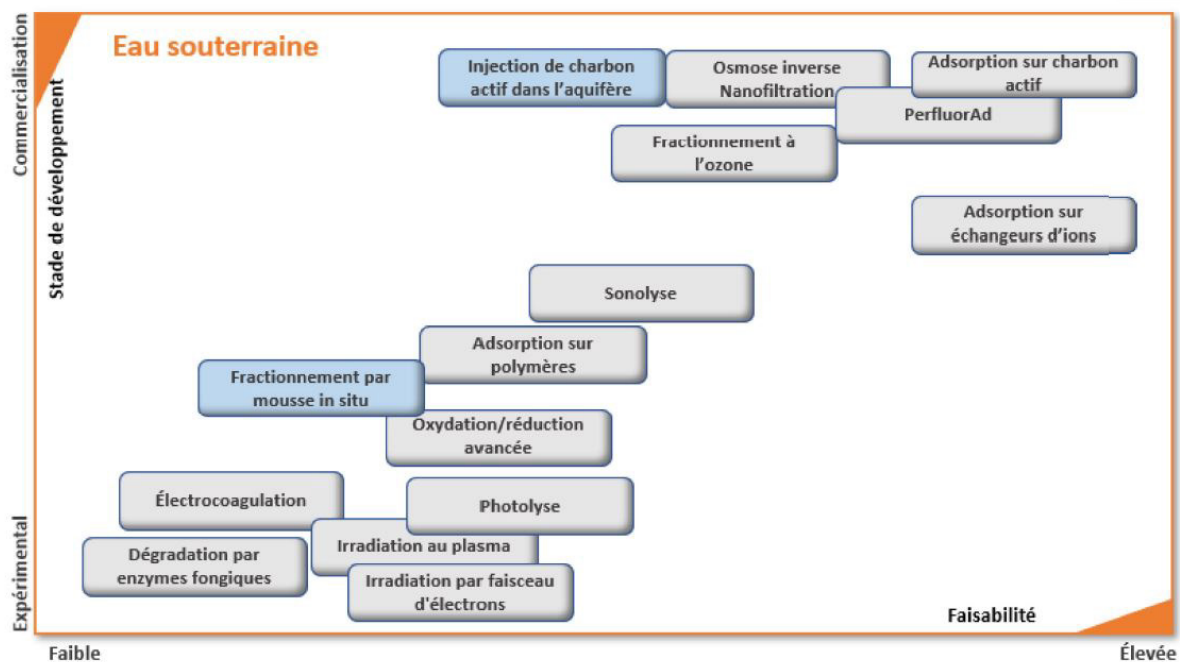


Figure 1. Méthodes d'assainissement in-situ (en bleu) et après pompage (en gris) des eaux souterraines (UBA, 2020 ; Arcadis, 2021).

Plusieurs entreprises se sont spécialisées dans l'assainissement des sols et de l'eau pollués par des PFAS, par exemple :

- Ventia ([Ventia | PFAS remediation](#)) et CleanEarth Technologies Inc ([Wastewater Solutions | Clean Earth \(cleanearthinc.com\)](#)) qui ont développé le processus breveté SourceZone® ;
- AECOM ([AECOM to launch PFAS solution DE-FLUORO™ at CleanUp 2019 in Adelaide](#)), qui a lancé une nouvelle technologie d'oxydation électrochimique DE-FLUORO™ pour l'élimination permanente des PFAS (essai pour l'élimination des PFAS dans l'eau contaminée) ;
- EPOC ENVIRO ([Homepage - Epoc Enviro](#)), qui a développé la méthode Surface Active Foam Fractionation (SAFF®) pour l'élimination des PFAS dans l'eau.

2.3. Résumé

Plusieurs méthodes ont été utilisées lors d'études pilote ou à grande échelle pour l'assainissement des sites pollués ou contaminés par des PFAS. Pour le traitement de l'eau les méthodes actuellement utilisées en routine ou testées à grande échelle utilisées sont l'adsorption sur charbon actif ou sur résines échangeuses d'ions, l'osmose inverse, la méthode « Surface Foam Active Fractionation (SAFF) », et les processus d'ozonation avancée. L'efficacité d'élimination des PFAS à longue chaîne est souvent supérieure à celle des PFAS à courte chaîne, qui sont plus mobiles. Des solutions sont en cours de développement (par exemple, chaînes de traitement en série, méthodes de destruction des PFAS).

Des techniques de lavage ex-situ ou in-situ ont été développées et mise en œuvre pour l'assainissement des sols. Ces méthodes se sont révélées efficaces pour les PFCA avec une longueur de chaîne C4-C8 et les PFSA. Les techniques d'immobilisation testées semblent efficaces à court terme (1 an) pour stopper la propagation des PFAS, mais leur efficacité reste incertaine à long terme (pas d'élimination des PFAS).

Les méthodes d'assainissement doivent prendre en compte les questions environnementales liées aux travaux d'excavation et/ou à la gestion des déchets (régénération des résines), ainsi qu'au risque lié à la production de sous-produits de dégradation toxiques.

3. Références

- Appleman, T.D., Higgins, C.P., Quiñones, O., Vanderford, B. J., Kolstad, C., Zeigler-Holady, J.C., Dickenson, E.R., 2014. Treatment of poly-and perfluoroalkyl substances in US full-scale water treatment systems. *Water research*, 51, 246-255.
- Arcadis, 2021. Bases de décision pour le traitement des sites pollués par des PFAS en Suisse. Auteurs : Lukas Gasser, Thomas Held, Fritz Krieg, Luzia Karthner, Alicia Lipsky, Michael Reinhard. Sur mandat de l'OFEV. Rapport, 103 pp.
- Arcadis, 2023. State of the Art PFAS- An overview of knowledge gaps and research needs soil and groundwater. Auteurs : Tessa Pancras, Hans Slenders, Daan Buijtenhuijs, Danne Post. Rapport, 47 pp.
- Belkouteb, N., Franke, V., McCleaf, P., Köhler, S., Ahrens, L., 2020. Removal of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in a full-scale drinking water treatment plant: Long-term performance of granular activated carbon (GAC) and influence of flow-rate. *Water Research*, 182, 115913.
- Bertanza, G., Capoferri, G.U., Carmagnani, M., Icarelli, F., Sorlini, S., Pedrazzani, R., 2020. Long-term investigation on the removal of perfluoroalkyl substances in a full-scale drinking water treatment plant in the Veneto Region, Italy. *Science of The Total Environment*, 734, 139154.
- Boone, J.S., Vigo, C., Boone, T., Byrne, C., Ferrario, J., Benson, R., Donohue, J., Simmons, J.E., Kolpin, D.W., Furlong, E., Glassmeyer, S.T., 2019. Per-and polyfluoroalkyl substances in source and treated drinking waters of the United States. *Science of the Total Environment*, 653, 359-369.
- Burns, D. J., Stevenson, P., Murphy, P.J., 2021. PFAS removal from groundwaters using Surface-Active Foam Fractionation. *Remediation Journal*, 31(4), 19-33.
- Burns, D.J., Hinrichsen, H.M., Stevenson, P., Murphy, P.J., 2022. Commercial-scale remediation of per-and polyfluoroalkyl substances from a landfill leachate catchment using Surface-Active Foam Fractionation (SAFF®). *Remediation Journal*, 32(3), 139-150.
- Castiglioni, S., Valsecchi, S., Polesello, S., Rusconi, M., Melis, M., Palmiotto, M., Manenti, A., Davoli, E., Zuccato, E., 2015. Sources and fate of perfluorinated compounds in the aqueous environment and in drinking water of a highly urbanized and industrialized area in Italy. *Journal of hazardous materials*, 282, 51-60.
- Conte, L., Falletti, L., Zaggia, A., Milan, M., 2015. Polyfluorinated organic micropollutants removal from water by ion exchange and adsorption.
- Ferrario, C., Peruzzi, C., Cislighi, A., Polesello, S., Valsecchi, S., Lava, R., Zanon, F., Santovito, G., Barausse, A., Bonato, M., 2022. Assessment of Reed Grasses (*Phragmites australis*) Performance in PFAS Removal from Water: A Phytoremediation Pilot Plant Study. *Water*, 14(6), 946.
- Franke, V., Schäfers, M.D., Lindberg, J.J., Ahrens, L., 2019. Removal of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from tap water using heterogeneously catalyzed ozonation. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(11), 1887-1896.
- Gobelius, L., Lewis, J., Ahrens, L., 2017. Plant uptake of per-and polyfluoroalkyl substances at a contaminated fire training facility to evaluate the phytoremediation potential of various plant species. *Environmental science & technology*, 51(21), 12602-12610.
- Grimison, C., Knight, E. R., Nguyen, T.M.H., Nagle, N., Kabiri, S., Bräunig, J., Navarro, D.A., Kookana, R.S., Higgins, C., McLaughlin, M.J., Mueller, J.F., 2022. The efficacy of soil washing for the remediation of per-and poly-fluoroalkyl substances (PFASs) in the field. *Journal of Hazardous Materials*, 130441.
- Høisæter, Å., Arp, H. P. H., Slinde, G., Knutsen, H., Hale, S. E., Breedveld, G. D., Hansen, M. C., 2021. Excavated vs novel in situ soil washing as a remediation strategy for sandy soils impacted with per-and polyfluoroalkyl substances from aqueous film forming foams. *Science of The Total Environment*, 794, 148763.
- Hubert, M., Arp, H.P.H., Hansen, M.C., Castro, G., Meyn, T., Asimakopoulos, A.G., Hale, S.E., 2023. Influence of grain size, organic carbon and organic matter residue content on the sorption of per-and polyfluoroalkyl substances in aqueous film forming foam contaminated soils-Implications for remediation using soil washing. *Science of The Total Environment*, 162668.
- Inyang, M., Dickenson, E.R., 2017. The use of carbon adsorbents for the removal of perfluoroalkyl acids from potable reuse systems. *Chemosphere*, 184, 168-175.

- McGregor, R. (2020). Six pilot-scale studies evaluating the in-situ treatment of PFAS in groundwater. *Remediation Journal*, 30(3), 39-50.
- OFEV, 2014. Évaluation des variantes d'assainissement. L'environnement pratique UV-1401-F, 34 pp.
- Quinnan, J., Morrell, C., Nagle, N., Maynard, K.G., 2022. Ex situ soil washing to remove PFAS adsorbed to soils from source zones. *Remediation Journal*, 32(3), 151-166.
- Schaefer, C.E., Lavorgna, G.M., Lippincott, D.R., Nguyen, D., Schaum, A., Higgins, C.P., Field, J., 2023. Leaching of Perfluoroalkyl Acids during Unsaturated Zone Flushing at a Field Site Impacted with Aqueous Film Forming Foam. *Environmental Science & Technology* 57(5), 1940-1948.
- Senevirathna, S.T.M.L.D., Mahinroosta, R., Li, M., Krishna Pillai, K., 2021. In situ soil flushing to remediate confined soil contaminated with PFOS-an innovative solution for emerging environmental issue. *Chemosphere*, 262, 127606.
- Söregård, M., Gago-Ferrero, P., Kleja, D.B., Ahrens, L., 2021. Laboratory-scale and pilot-scale stabilization and solidification (S/S) remediation of soil contaminated with per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123453.
- Söregård, M., Kleja, D.B., Ahrens, L., 2019. Stabilization and solidification remediation of soil contaminated with poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Journal of Hazardous Materials*, 367, 639-646.
- Statens Geotekniska Institut (Suède), 2022. Åtgärdstekniker för PFAS i jord och grundvatten / Kunskapssammanställning (Techniques d'assainissement pour les PFAS dans le sol et les eaux souterraines / Synthèse de l'expertise). Auteurs : Michael Pettersson, Malin Montelius, Dan Berggren Kleja, Anja Enell. Rapport, 56 pp.
- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K., 2011. Fate of perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in drinking water treatment processes. *Water research*, 45(13), 3925-3932.
- Umweltbundesamt (UBA) (2020), Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen – Abschlussbericht, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas.pdf.
- World Health Organization (WHO). Keeping Our Water Clean: The Case of Water Contamination in Veneto Region, Italy. WHO: Geneva, Switzerland, 2017.
- Zaggia, A., Conte, L., Falletti, L., Fant, M., Chiorboli, A., 2016. Use of strong anion exchange resins for the removal of perfluoroalkylated substances from contaminated drinking water in batch and continuous pilot plants. *Water research*, 91, 137-146.

Annexe 5

Note sur la détermination d'une valeur limite selon l'OLED pour la somme de PFAS en vue de la mise en décharge des déchets, état au 20.8.2024



Référence : BAFU-357.13-9/26/6

Note sur la détermination d'une valeur limite selon l'OLED¹ pour la somme de PFAS en vue de la mise en décharge des déchets

A noter :

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) ne sont pas réglementées dans l'OLED qui ne contient pas de valeurs limites généralement valables pour cette classe de substances. Dans les cas où les valeurs limites font défaut, l'annexe 3, chiffre 3, et l'annexe 5, chiffre 6.2, OLED s'appliquent. Celles-ci stipulent que :

- *Si les matériaux d'excavation et de percement contiennent des substances pour lesquelles aucune valeur limite n'a été fixée, l'autorité évalue les déchets au cas par cas avec l'accord de l'OFEV, selon les dispositions de la législation sur la protection de l'environnement et sur la protection des eaux (annexe 3, chiffre 3, OLED).*
- *Si des déchets contiennent des substances dangereuses pour l'environnement pour lesquelles les chiffres 1 à 5 ne prévoient aucune valeur limite, l'autorité cantonale fixe, avec l'accord de l'OFEV, des valeurs au cas par cas, selon les dispositions de la législation sur la protection de l'environnement et sur la protection des eaux (annexe 5, chiffre 6.2, OLED).*

Les autorités d'exécution ont donc la possibilité de fixer au cas par cas, c'est-à-dire pour chaque site, des valeurs auxquelles est attribuée, pour le site en question, la même force juridique que les valeurs limites fixées dans l'OLED. L'autorité doit toutefois obtenir au préalable l'accord de l'OFEV.

Dans le texte suivant, l'OFEV explique comment, de son point de vue et en fonction de l'état actuel des connaissances, il est possible de déterminer des valeurs limites pour les PFAS dans les matières solides. Ces valeurs ne sont pas universelles, mais doivent être fixées par l'autorité compétente en fonction du site, conformément aux dispositions ci-dessus.

L'autorité cantonale d'exécution est libre de demander, au cas par cas, des valeurs limites OLED plus basses que celles mentionnées ici et de les fixer ensuite avec l'accord de l'OFEV. Elle peut également limiter le dépôt de déchets contenant des PFAS à certaines décharges appropriées.

La question de l'évaluation des PFAS dans le cadre de la gestion des déchets et des sites contaminés fait depuis quelque temps l'objet d'un débat très intense et controversé, et pas seulement en Suisse. La motion 22.3929 de la conseillère aux Etats Marianne Maret « Définition dans les ordonnances de valeurs spécifiques aux PFAS »² demande au Conseil fédéral de fixer des valeurs limites spécifiques pour les PFAS dans l'ordonnance sur les déchets (OLED). Les paragraphes suivants décrivent comment l'OFEV détermine les valeurs limites pour la matière solide selon l'OLED en ce qui concerne les PFAS.

Jusqu'à fin 2022, l'OFEV a approuvé des valeurs basées sur le lixiviat 24h selon l'OLED comme valeurs limites OLED pour la mise en décharge des déchets contenant des PFAS : 5 ng TEQ/l comme valeur U, 50 ng TEQ/l comme valeur B, 500 ng TEQ/l comme valeur E. Ces valeurs découlaient de la valeur de concentration de l'annexe 1 OSites³, elle-même basée sur l'estimation de la mise en danger

¹ Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets du 4 décembre 2015 (Ordonnance sur les déchets, OLED, RS 814.600).

² <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20223929>

³ Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués du 26 août 1998 (Ordonnance sur les sites contaminés, OSites, RS 814.680).



toxicologique de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)⁴ de 2020. Une investigation d'environ 150 sols suisses considérés comme non pollués a toutefois montré en été 2022 qu'il faut partir du principe qu'il existe une pollution de fond ubiquitaire par les PFAS dans la couche supérieure du sol. Les PFAS ont été détectés dans chaque mesure ; la concentration minimale est de 0.2 µg/kg, la médiane de 1.4 µg/kg et 95% de toutes les mesures présentent des teneurs allant jusqu'à 5 µg/kg.

Au vu de ces faits, l'OFEV a décidé de passer des valeurs basées sur le lixiviat 24 heures de l'OLED, qui étaient alors la norme, aux valeurs limites pour la matière solide lors de son approbation au cas par cas des valeurs limites pour l'élimination des déchets contenant des PFAS dans les décharges. L'OFEV l'a communiqué dans une lettre adressée aux services spécialisés dans les déchets et les sites contaminés des cantons et des offices fédéraux le 31 janvier 2023. L'OFEV recommande actuellement d'utiliser les valeurs limites suivantes pour les PFAS :

- **Valeur U** (valeur limite pour les matériaux d'excavation non pollués selon l'annexe 3, chiffre 1, OLED) : **0.1 µg/kg**.
(Cette valeur correspond au seuil de quantification par substance individuelle de PFAS. Des limites de quantification plus élevées pour des substances individuelles peuvent être autorisées s'il est objectivement justifié pourquoi les 0,1 µg/kg ne peuvent pas être atteints).
- **Valeur T** (valeur limite pour les matériaux d'excavation faiblement pollués (ou tolérés) selon l'annexe 3, chiffre 2 OLED) : **2.5 µg/kg**.
(Jusqu'à nouvel ordre, valorisation conditionnelle en ce qui concerne l'art. 19, al. 2, OTAS : let. a : fabrication de matériaux de construction exclusivement à base de liants hydrauliques est autorisée. Let. b et d : valorisation selon les prescriptions du canton compétent. Let. c : fabrication de clinker de ciment exclusivement en présence et selon l'autorisation cantonale d'exploitation⁵ correspondante de la cimenterie.)
- **Valeur B** (valeur limite pour les matériaux destinés à être mis en décharge de type B selon l'annexe 5, chiffre 2.3, OLED) : **5 µg/kg**.
(Cette valeur tient compte de la pollution de fonds en PFAS dans les couches supérieures des sols suisses.)
- **Valeur E** (valeur limite pour les matériaux destinés à être mis en décharge de type E selon l'annexe 5, ch. 5.2, OLED) : **5 µg/kg**.
(D'un point de vue toxicologique, aucun matériau contenant plus de 5 µg/kg ne devrait être mis en décharge).

Chaque valeur limite de PFAS doit comprendre au moins la somme des 9 substances individuelles de PFAS qui sont également à la base de la valeur de concentration totale selon l'annexe 1 OSites (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS et PFOS). En cas de soupçon concret de présence d'autres PFAS pertinents, ceux-ci doivent toutefois également être inclus dans la valeur totale des matières solides.

Les valeurs inférieures au seuil de quantification pour les différentes substances PFAS sont considérées comme nulles dans le calcul de la somme.

En ce qui concerne la valorisation du sol, on actuellement retenir ce qui suit :

Le sol doit être valorisé si ses propriétés le permettent, s'il ne contient pas de substances étrangères ni

⁴ L'avis de l'EFSA de 2020 (Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>) recommande une dose hebdomadaire maximale (tolerable weekly intake, TWI) de 4,4 ng par kilogramme de poids corporel et par semaine pour la somme des PFOA, PFNA, PFHxS et PFOS. Ce TWI correspond, converti pour un poids corporel de 70 kg et une consommation quotidienne d'eau potable de 2 litres, à une valeur de concentration de 22 ng/l selon l'OSites. Comme la moitié de la valeur de concentration est considérée comme valeur d'assainissement dans un secteur de protection des eaux A₀, l'OFEV propose d'utiliser comme valeur de concentration totale de PFAS le double de la valeur TWI arrondie à 50 ng/l.

⁵ Le cas échéant, une telle utilisation est régie de manière spécifique à l'installation (cf. art. 24, al. 1, et annexe 4, chiffre 4.2, OLED).

d'organismes exotiques envahissants et s'il respecte les valeurs indicatives de l'OSol⁶ (art. 18, al. 1, OLED). Il n'existe pas encore de valeurs indicatives pour les PFAS. Selon l'art. 5 OSol, l'autorité compétente doit évaluer au cas par cas si la fertilité du sol est garantie à long terme et prendre des mesures si nécessaire. Le canton n'a pas besoin de l'accord de l'OFEV pour fixer des valeurs indicatives, des seuils d'investigation ou des valeurs d'assainissement selon l'OSol, mais il peut lui demander conseil.

Il est possible que les valeurs limites indiquées ci-dessus pourraient encore être adaptées en fonction des résultats des groupes de travail sur les PFAS, de la disponibilité de nouvelles données scientifiques, de la réalisation d'autres mesures sur les pollutions aux PFAS en Suisse, de l'expérience acquise en matière de mise en œuvre et d'une éventuelle nouvelle législation. Nous sommes conscients que cette incertitude n'est pas optimale pour toutes les parties concernées et qu'elle complique la mise en œuvre, mais elle est inévitable au vu des nombreuses questions scientifiques et techniques encore en suspens concernant la gestion de la pollution par les PFAS.

Pour la note : A. Laube, R. Kettler / OFEV / 20 août 2024

⁶ Ordonnance sur les atteintes portées aux sols du 1er juillet 1998 (OSol, RS 814.12)