

upds MAG

LE MAGAZINE DES PROFESSIONNELS
DE LA DÉPOLLUTION DES SITES



Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

// HYGIÈNE & SÉCURITÉ

Accidentologie UPDS

// RÉGLEMENTAIRE

La loi ASAP pour les sites et sols
pollués

// ACTUALITÉ

Charte climatique UPDS
10 bonnes raisons d'adhérer

DOSSIER

LES POLLUANTS
ÉMERGENTS //



// SOMMAIRE

Edito //	3
Hygiène & Sécurité //	
Accidentologie UPDS 1er Semestre 2020®	4
Dossier : Les polluants émergents //	
PRISE EN COMPTE DES POLLUTIONS AUX PFAS DANS LES "ÉTUDES SSP" retours d'expérience et points d'attention..	5
LA GESTION DES POLLUTIONS PAR LES PFAS DANS CERTAINS PAYS EUROPÉENS	8
ETUDE DE CAS SUR LES PFAS : Distribution environnementale, impact et pistes de traitement des PFAS en Vallée de Seine	10
ESSAIS DE TRAITEMENT DES PFAS zones sources et panaches	14
LE PFAS-D Une future technologie de traitement des eaux innovante	16
REHABILITATION DES EAUX SOUTERRAINES IMPACTÉES PAR L'ION PERCHLORATE	19
RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT : Des zones humides artificielles pour traiter les eaux contaminées en pesticides	23
Réglementaire //	
LA LOI ASAP pour les sites et sols pollués	25
Actualité //	
LES DERNIÈRES PUBLICATIONS sites et sols pollués	26
CHARTRE CLIMATIQUE de l'upds	27
10 BONNES RAISONS D'ADHÉRER Rejoindre l'upds	28



Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

UPDS MAG n°9 juin 2021

Magazine édité par l'UPDS

Union des professionnels de la dépollution des sites
183 avenue Georges Clémenceau 92000 NANTERRE
www.upds.org

Réalisation

UPDS

Comité de rédaction

Christel de LA HOUGUE, Franck LECLERC, Yves GUELORGET, Nicolas FOURAGE, Boris DEVIC-BASSAGET.

Crédit photo

@UPDS

// CALENDRIER



Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.



WEB CONFÉRENCE

L'UPDS, en partenariat avec Actu-Environnement organise une web conférence le **Judi 24 juin de 9h à 11h30**

Plan de relance : des opportunités pour la reconquête de sites pollués

Plusieurs tables rondes animées par des journalistes avec des invités pour débatre.

[En savoir plus et vous inscrire](#)



12-15 Oct. 2021 Lyon Eurexpo

POLLUTEC

Le salon Pollutec aura lieu à Lyon du 12 au 15 Octobre 2021 (Changement de dates)



SMCL

L'UPDS est partenaire du Salon des Maires et des Collectivités Locales avec un espace : " La place de la reconquête des friches dans les territoires".

Du 16 au 18 Novembre à Paris (Porte de Versailles)

// SUIVEZ-NOUS



// CONTACTEZ-NOUS

Pour toute proposition de sujet ou demande d'information :

upds@upds.org

// ÉDITO



Boris
DEVIC-BASSAGET,
Membre du bureau
de l'UPDS

Chers lecteurs et adhérents de l'UPDS,

Depuis notre dernier numéro d'UPDS Mag, de nombreux sujets ont été menés ou suivis par l'UPDS.

Tout d'abord, la loi ASAP (accélération et simplification de l'action publique) avec la reconnaissance de la certification Sites et Sols Pollués et la mise en place de 3 nouvelles attestations. Cette évolution va entraîner la modification de la norme NFX31-620 ainsi que de l'Arrêté Ministériel du 19/12/2018 pour leur intégration. Après un énorme travail pour défendre la position de nos adhérents, un planning ambitieux est à venir pour l'écriture de ces nouvelles parties de la norme.

Mais aussi des sujets en cours comme la traçabilité des déchets avec la mise en place du registre national de traçabilité des terres et sédiments, le projet de guide de valorisation des sédiments, le guide des bonnes pratiques pour la rédaction des cahiers des charges, ou encore la sortie du statut de déchets ...

Dans le cadre du plan de relance auquel de nombreux adhérents ont participé, plus de 180 dossiers ont été déposés : un nombre bien au-delà des espérances de l'Ademe et des Régions. La loi "Climat et résilience" montre quant à elle l'importance prise par le métier de la dépollution des sols pour la préservation de l'environnement et la

lutte contre l'artificialisation des sols.

Vous trouverez dans ce 9^{ème} numéro d'UPDS Mag un dossier spécial sur les polluants émergents. En France, la problématique des PFAS est croissante du fait de leurs utilisations dans de très nombreux domaines.

Mais la connaissance de ces milliers de polluants reste incomplète et pose de nombreuses questions.

Comme vous le verrez dans ce dossier, beaucoup de choses restent à faire tant sur le plan des techniques de traitement que sur la définition des seuils réglementaires notamment pour les perfluorés.

N'oubliez pas de communiquer sur la web-conférence organisé par L'UPDS en partenariat avec Actu-Environnement: **Des opportunités pour la reconquête des sites pollués, le 24 Juin de 9h à 11h.**

Bonne lecture.

Boris Devic-Bassaget
Membre du bureau
de l'UPDS

// HYGIENE ET SÉCURITÉ

ACCIDENTOLOGIE UPDS

1^{ER} SEMESTRE 2020

La collecte des données accidentologie des adhérents de l'UPDS sur le premier semestre de l'année 2020 concerne 47 des 48 adhérents de l'UPDS, représentant 2321 salariés en ETP .

TF1, TF2, TG

Si l'on considère la totalité de l'UPDS, les nombres d'accidents du travail et d'accidents de trajet sont strictement identiques à ceux du 1er semestre 2019, conduisant à la stabilité du TF2.

Mais la répartition entre accidents sans arrêt et avec arrêt s'inverse, ces derniers devenant plus nombreux et entraînant une dégradation du TF1.

Le taux de gravité s'améliore, les accidents avec arrêt conduisant à moitié moins de jours d'arrêt que lors du 1er semestre 2019, notamment au sein du collège travaux.

L'augmentation du nombre d'accidents avec arrêt pourrait être un effet collatéral de la pandémie de Covid 19.

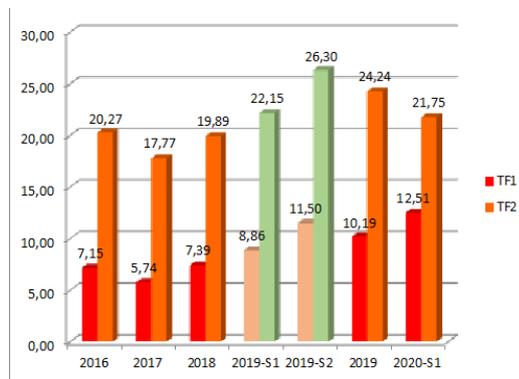
Il est à noter que les calculs des TF1, TF2 et TG ont été réalisés sans prise en compte des éventuelles périodes de chômage partiel lié à la pandémie de Covid-19, qui auraient pour effet de dégrader ces indicateurs.

ORIGINE, SIÈGE ET NATURE DES LÉSIONS

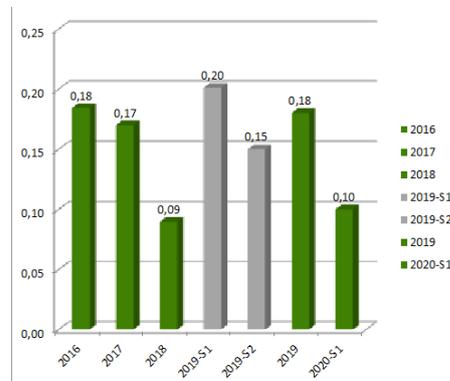
Les lésions sont comme toujours principalement liées à la manutention manuelle, ainsi qu'aux chutes de plain-pied en travaux.

Les lésions se situent plutôt en partie supérieure du corps, notamment en ingénierie où les doigts et les mains sont plus impactés (blessures superficielles et plaies liées aux manipulations de bœaux et de petits outillages).

En travaux, ce sont le dos, le rachis et les membres inférieurs qui sont les plus impactés (douleurs musculaires liées à la manutention de charges et aux chutes de plain-pied).



Comparaison des indicateurs TF1 et TF2 pour la totalité de l'UPDS



Comparaison de l'indicateur TG pour la totalité de l'UPDS

TOTALITE DE L'UPDS									
Année	TF1	TF2	Nombre de jours d'arrêt	TG	ASA	AAA	Nombre total d'accidents du travail	Nombre d'accidents de trajet	Nombre de décès
2016	7,15	20,27	618	0,18	44	24	68	22	0
2017	5,74	17,77	616	0,17	44	21	65	40	0
2018	7,39	19,89	320	0,09	44	26	70	40	0
2019-S1	8,86	22,15	363	0,20	24	16	40	10	0
2019-S2	11,50	26,30	280	0,15	27	21	48	14	0
2019	10,19	24,24	643	0,18	51	37	88	24	0
2020-S1	12,51	21,75	187	0,10	17	23	40	10	0

Christel de LA HOUGUE (UPDS)

// DOSSIER : LES POLLUANTS ÉMERGENTS

PRISE EN COMPTE DES POLLUTIONS AUX PFAS DANS LES "ÉTUDES SSP" RETOURS D'EXPÉRIENCE ET POINTS D'ATTENTION.

Compte tenu de la multiplicité des activités et usages qui sont à l'origine de la présence des PFAS dans l'environnement et de leurs propriétés, la prise en compte de ces molécules requiert une attention spécifique aux différentes étapes de la démarche des études SSP. A travers un exemple, TAUW présente un retour d'expérience concernant le schéma conceptuel, le diagnostic et l'interprétation des résultats analytiques.

LES PFAS : PLUSIEURS MILLIERS DE MOLÉCULES AUX USAGES INDUSTRIELS ET DOMESTIQUES

Les PFAS, ou substances per- et polyfluoroalkylées, constituent une famille de plus de 4 500 molécules organiques. Elles varient de par la taille de leur chaîne carbonée, leur groupement fonctionnel (acide, alcool, sulfonique, etc.) et le nombre d'atomes de fluor (Figure 1).

Les PFAS sont utilisés pour leurs propriétés déperlantes, de réduction des frottements et de l'adhérence pour des applications industrielles ou de la vie courante. On les retrouve dans de nombreuses activités industrielles (chimie, plasturgie, traitement de surface des métaux, etc.), d'application dans les produits de consommation (textile, papier / carton, fluides frigorifiques, emballages alimentaires, etc.) ou d'usage professionnel (mousses incendie, résines et peintures, etc.).

Les PFAS polymères sont résistants au UV, aux agents chimiques et à la chaleur. Les PFAS amphiphiles (qui combinent une chaîne alkyle fluorée et un groupe fonctionnel hydrophile) tels que le PFOS et le PFOA sont d'excellents tensioactifs, utilisés dans de nombreux processus industriels.

Utilisées depuis les années 1950 mais considérées très récemment comme POP (pour le PFOA et le PFOS), ces substances qui se dégradent difficilement dans

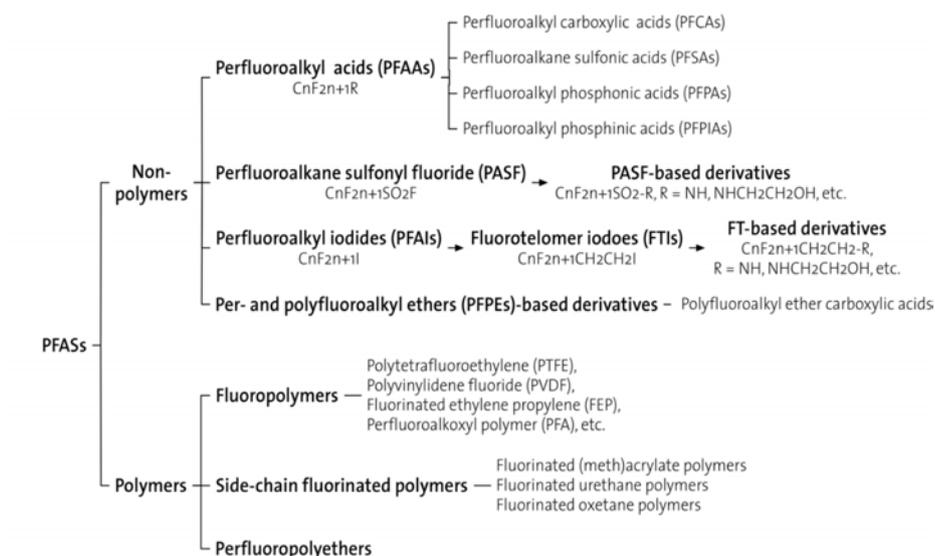


Figure 1 : Classification des substances per- et polyfluoroalkylées [1]

l'environnement sont présentes dans tous les compartiments de l'environnement (sol, sédiments, eau, biote, flore, etc.) et de la chaîne trophique jusqu'à l'homme.

Malgré des réglementations et des programmes internationaux de remplacement de certains PFAS, la quantité mondiale produite continue de croître.

Les efforts de substitution ont conduit à l'utilisation de molécules (GenX, PFBS, cf. Figure 2) dont la toxicité ou le devenir dans l'environnement sont moins connus.

Certains PFAS employés sont des précurseurs : ils se dégradent en PFAS à chaîne courte.

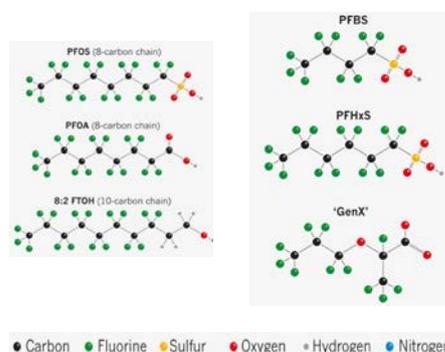


Figure 2 : Exemple de molécules appartenant à la famille des PFAS [2]

LE SCHÉMA CONCEPTUEL : QUELS PFAS POUR QUELLES ACTIVITÉS, QUELS MODES DE DISPERSION ET VECTEURS, OÙ RECHERCHER LES PFAS ?

Sur la plateforme industrielle étudiée, plusieurs origines de PFAS ont été identifiées (Figure 3) :

- Activités historiques liées aux procédés industriels (fuites chroniques) et gestion des rejets aqueux (station de traitement),
- Zone d'entraînement des pompiers du site, extinction d'incendies : PFAS présents dans les fluides incendie (récupération vers la station de traitement et infiltration dans le sol).

Les PFAS introduits dans le milieu souterrain sont essentiellement piégés par les mécanismes de sorption sur la fraction minérale des sols et la matière organique, à l'interface air-eau (zone non saturée et zone de battement) ainsi qu'à l'interface NAPL-eau lorsque celle-ci existe (zones d'incendie notamment). Ces mécanismes concourent à des facteurs de retard élevés (>10 à >1000 selon les cas [3]), générant une émission pérenne dans le temps.

Les PFAS à chaîne courte (<C8) sont plus mobiles ; certaines molécules, appelées « précurseurs » (télomères polyfluorés par exemple), se décomposent en d'autres PFAS. Enfin, des processus de biodégradation (défluoruration réductrice [4]) peuvent contribuer à une atténuation naturelle lente de certains PFAS (PFOS et PFOA notamment).

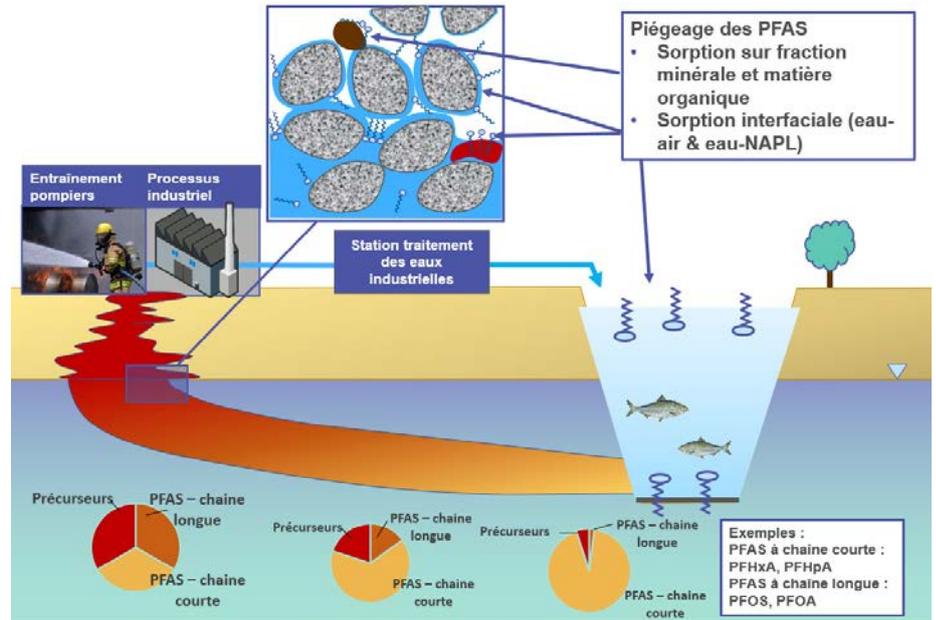


Figure 3 : Schéma conceptuel du site d'étude

Les PFAS étant présents dans une grande variété de produits industriels comme de consommation, il est important de tenir compte des activités environnantes pouvant aussi être à l'origine d'émission de PFAS. Ont été identifiés dans un rayon de plusieurs km autour du site des industries (textile, aéroport), des équipements publics (casernes de pompiers, incinérateur, station d'épuration) et des zones ayant subi des incendies par le passé.

Appréhender les zones d'impact potentiel du site et des activités périphériques permet d'une part de dissocier les contributions potentielles de chaque « source » et d'autre part de définir la distance nécessaire afin de prélever des échantillons représentatifs d'un état dit « témoin » local.

La modélisation des panaches de polluants potentiellement rejetés par les activités (dispersions en nappe ou atmosphériques) peut servir d'aide à la décision mais nécessite des informations fiables quant

aux activités générant ces émissions.

Dans le cadre de l'étude, les données historiques ont servi à établir différents scénarios d'émission de PFAS afin de délimiter les zones d'impact probable et de guider les programmes d'investigations pour évaluer l'impact potentiel hors site. Il est en revanche plus difficile de modéliser la contribution des sources extérieures au site car les données peuvent manquer.

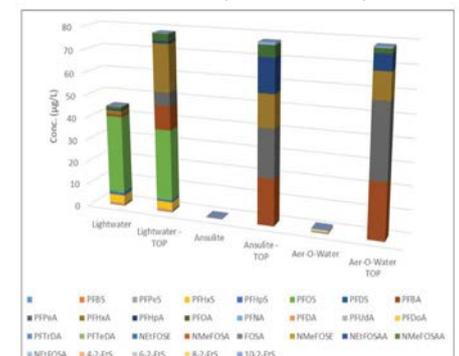


Figure 5 : PFAS détectés dans différentes formulations de mousses incendies (composition relative), comparaison entre un dosage par la méthode traditionnelle et par la méthode « TOPA »

Dans le cadre de l'étude historique, les bases de données nationales ADES et NAIADES permettent un premier screening : certains PFAS détectés dans les milieux naturels à proximité du site n'étaient pas utilisés dans les process industriels étudiés, indiquant une probable origine externe au site. (Figure 4)

Les études existantes à ce jour ne permettent pas de relier directement les molécules à certaines activités, d'autant plus que les compositions de certaines formulations, comme celles des mousses incendies, diffèrent au cours du temps et selon les fournisseurs (Figure 5).

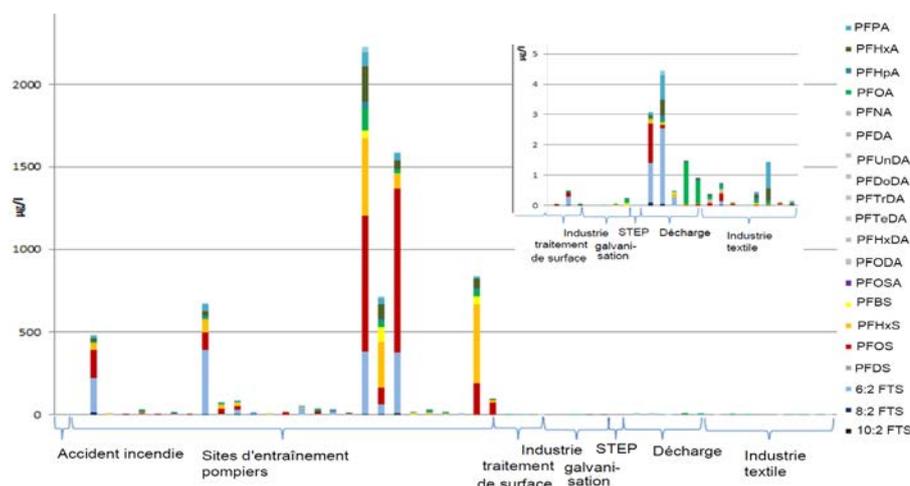


Figure 4 : PFAS détectés dans la nappe au droit de diverses activités industrielles en Flandres [6]

DIAGNOSTICS ET INTERPRÉTATION : QUELLES PRÉCAUTIONS POUR LE PRÉLÈVEMENT ET L'ANALYSE, QUELLES VALEURS DE COMPARAISON ?

Lors de l'échantillonnage, la présence potentielle de PFAS dans de nombreux outils de prélèvement utilisés lors d'études de sites et sols pollués impose d'éviter certains produits lorsqu'il s'agit de prélever les matrices afin d'éviter les "faux positifs": vêtements imperméables (préférer des bottes en PVC et des tissus en coton), tuyaux de prélèvement en PTFE (préférer des matériaux en HDPE ou silicone), les produits de protection (crèmes solaires, etc.) et la manipulation des matériaux traités (cartons, "ice-packs", etc.). L'usage de lubrifiants perfluorés pour le forage doit aussi être proscrit. La communication de ces précautions doit s'étendre à d'éventuels sous-traitants.

De par leurs propriétés tensio-actives, la plupart des PFAS se répartissent majoritairement au niveau des interfaces physiques : eau / air (frange capillaire et zone de battement de nappe, frange superficielle des eaux de surface), eau / sédiment en fond de cours d'eau, interface huile / eau / air (hydrocarbures flottants, incendies). **C'est donc aux interfaces qu'il convient de prélever pour détecter les principales zones d'impact en PFAS.**

La majorité des « packs analytiques » proposés par les laboratoires recouvrent plusieurs dizaines de molécules avec des Limites de Quantification (LQ) de l'ordre du µg/kg dans les sols et du ng/L dans les eaux [5]. Ces faibles LQ et la présence ubiquitaire des PFAS dans de nombreux matériaux et produits imposent de comparer les résultats d'analyse aux valeurs de bruit de fond (témoin) existantes afin de conclure sur la présence d'un impact lié au site d'étude Tab. 1).

La directive européenne de 2020 [12], applicable dès 2026, régle les PFAS dans les eaux de consommation : 0,1 µg/L pour la somme de 20 PFAS considérés comme préoccupants et 0,5 µg/L pour la totalité des PFAS (sans fournir la liste des molécules à considérer ni la technique analytique à utiliser). **Depuis 2015, l'Anses propose les concentrations maximales de 0,075 µg/L en PFOA et 0,18 µg/L en PFOS dans les eaux de boisson** [13]. Au sein de l'Europe, les concentrations limites sont très variées: 30 à 530 ng/L pour le PFOS, 3 à 10 000 ng/L pour le PFOA, et 100 à 900 ng/L pour la somme de 13 PFAS retenus (cf. Tab. 2).

	PFOS	PFOA	PFPeA	PFPS	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFBA	PFBS
Allemagne	0,1	0,1	3	6	6	0,1	0,3	0,3	10	6
Danemark	0,006	0,003	∑(PFBS, PFHxS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFNA, PFDA, PFOA, PFOS) < 0,1*							
Italie	0,03	0,5	∑(PFBA, PFPeA, PFBS, PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFNA, PFDeA, PFUnA, PFDaA) < 0,5*						0,5	0,5
Pays-Bas	0,53	0,0875								
Royaume- Uni	0,3	10								
Suède	∑(PFBS, PFHxS, PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, 6:2FTSA, PFBA, PFNA, PFDA) < 0,9 (consommation eau interdite) ou 0,09 (actions correctives)*									

* PFNA, PFDeA, PFUnA, PFDaA, 6:2FTS/A, PFDA n'ont pas de valeurs limite en dehors des sommes
Tab. 2 : exemples de valeurs limites des PFAS dans les eaux de boisson dans certains états membres de l'EU [13] – valeurs qui pourront être modifiées suite à la directive [12]

Dans les eaux de surface, seul le PFOS présente une norme de qualité environnementale (NQE à 0,65 ng/L) et une concentration maximale admissible (CMA à 36 µg/L) [14]. Peu de valeurs encadrent les autres types d'eaux (baignade, pêche, souterraines). Concernant le milieu sol, les Etats-Unis, les Pays-Bas, le Danemark, l'Australie et la Norvège ont publié des valeurs limites en considérant différents scénarios d'usage ou de valorisation des sols contaminés : bruit de fond, exposition directe (ingestion), protection des eaux souterraines, utilisation en agriculture, etc.

Il est possible que ces valeurs soient revues suite à la publication récente de VTR plus restrictives par l'EFSA [4,4 ng/kg/semaine pour la somme des PFOA, PFNA, PFHxS et PFOS] [15]. A titre d'illustration sur l'impact

de ces nouvelles VTR, une étude de risques sanitaires conduite récemment aux Pays-Bas a conclu à la recommandation de ne pas consommer les produits du potager, pour les riverains habitant dans un rayon d'un kilomètre autour du site industriel.

En complément des « packs analytiques » ciblant quelques dizaines de molécules, des méthodes émergent afin de doser la « somme des PFAS » ou de cibler certains groupes : méthode « AOF » (Adsorbable Organic bound Fluor) dosant la somme des

composés organiques fluorés, méthode « TOPA » (Total Oxidisable Precursor Analysis) dosant les précurseurs. Cette dernière méthode est adaptée aux pollutions liées aux fluides incendie, certaines formulations pouvant contenir plus de 50% de précurseurs (Figure 5).

La prise en compte des PFAS dans les études SSP est relativement récente et nécessite de maîtriser les spécificités de ces molécules pour les différentes étapes allant de l'étude documentaire au schéma conceptuel en passant par le diagnostic (matériaux et méthodes d'échantillonnage, méthode analytique et choix de liste de molécules) : large famille de substances, pour la plupart tensioactives, large spectre d'utilisations industrielles et domestiques, comportements et mélanges complexes.

Héloïse THOUËMENT (TAUW)
Sébastien KASKASSIAN (TAUW)

	France		Référence
Eau superficielle	0,19 µg/L	Maximum, somme des PFAS	[7]
Eau souterraine	0,01 à 0,13 µg/L	Maximum mesuré, PFOA, PFOS, PFHxS	[8]
Sol superficiel	0,2 à 3,2 µg/kg	Gamme mesurée en région parisienne, somme des PFAS	[9]
Sédiment	25 µg/kg	Maximum, somme des PFAS	[8]
Europe			
Sol superficiel	PFOS : 1,4 µg/kg PFOA : 1,9 µg/kg	Bruits de fond mesurés aux Pays Bas, retenus comme valeurs réglementaires	[10]
Eau superficielle	0,1 à 1,3 µg/L	Maximum des PFAS les plus courants - Europe	[11]

Tab. 1 : synthèse des valeurs de bruit de fond dans différents milieux en France et en Europe

*[Cliquez ICI](#) pour la bibliographie de l'article

// DOSSIER : LES POLLUANTS EMERGENTS

LA GESTION DES POLLUTIONS PAR LES PFAS DANS CERTAINS PAYS EUROPÉENS

Les PFAS sont des composés toxiques et très persistants encore méconnus et peu pris en compte dans la réglementation. S'il est indéniable que des progrès ont été réalisés ces dernières années, la gestion des PFAS pour les sols et les eaux souterraines en est encore à ses débuts dans toute l'Europe.

Les PFAS sont une famille de produits chimiques artificiels largement utilisés depuis les années 50. Ils ont des caractéristiques chimiques spécifiques qui les ont rendus précieux dans une gamme d'applications allant du revêtement antiadhésif sur les ustensiles de cuisine, sur les vêtements imperméables, à la mousse anti-incendie. Ce groupe de produits chimiques se compose de substances perfluoralkyle et polyfluoralkyle, qui sont caractérisées par des chaînes d'atomes de carbone liés à des atomes de fluor.

Ce n'est que depuis assez récemment que les effets négatifs des PFAS sur la santé humaine et environnementale sont reconnus. En outre, en raison des propriétés chimiques spécifiques des PFAS, ils sont mobiles et extrêmement stables. Cela signifie que les PFAS sont présents dans l'environnement de manière très étendue et durable.

Malgré quelques initiatives visant à en réglementer l'usage, ces substances restent encore largement utilisées.

QUELQUES INITIATIVES DANS CERTAINS PAYS ...

Quelques initiatives sont prises chez nos voisins pour encadrer le traitement de ces contaminants.

Aux Pays-Bas, des mesures réglementaires ont été prises sous la forme de critères de réutilisation des sols contenant des PFAS. La mise en œuvre de ces seuils a conduit à un quasi-arrêt de l'ensemble des activités de terrassement pendant plusieurs mois.

En effet, des critères de réutilisation



Les PFAS utilisés dans les mousses anti-incendie

stricts, associés à un groupe très répandu de contaminants, s'ajoutant à l'incertitude sur les méthodes d'analyse et à l'absence de techniques de traitement, ont provoqué d'énormes stocks de sol pour lesquels aucune destination n'a pu être trouvée.

Ces critères de réutilisation ont depuis été reconsidérés et dûment ajustés à la hausse, permettant au secteur de la construction de reprendre son élan. Mais des questions importantes demeurent concernant le niveau de protection approprié.

En Belgique, les régulateurs flamands ont suivi une voie légèrement différente. Une approche plus graduelle a été suivie: plusieurs études exploratoires initiales et exercices d'évaluation des risques ont précédé l'introduction de lignes directrices

limitées pour la réutilisation des sols et l'étude des sites.

En ce qui concerne **le Royaume-Uni**, aucune directive claire sur le traitement de la contamination par les PFAS dans le sol n'a encore été adoptée. Mais une grande attention est accordée à l'impact des PFAS sur la qualité de l'eau, en particulier l'eau potable.

S'il est indéniable que des progrès ont été réalisés dans ces pays, il est important de souligner que l'ensemble du domaine de la gestion des PFAS pour les sols et les eaux souterraines en est encore à ses débuts dans toute l'Europe.

En France, aucune réglementation n'existe actuellement pour ces composés.



DE NOMBREUX PROBLÈMES ENCORE À RÉSOUDRE ...

Les problèmes commencent avec la définition de valeurs seuil. L'approche traditionnelle consiste à dire que, pour chaque composé spécifique, des valeurs seuils officiellement décrétées peuvent guider le processus de prise de décision.

Les PFAS représentant un groupe de plus de 5 000 composés, il est clair que la définition de seuils spécifiques à chaque composé n'est pas réalisable !

En outre, même les analyses de pointe spécifiques pour chaque composé ne sont actuellement pas disponibles. Cependant, jusqu'à présent, c'était généralement la méthode préférée : les deux PFAS les mieux étudiés (PFOA et PFOS) bénéficient d'un traitement préférentiel et sont réglementés, tandis que tous les autres PFAS restent sous le radar.

On ne peut pas nier que traditionnellement le PFOA et le PFOS ont été les plus utilisés et que leur toxicité a été raisonnablement bien étudiée. Cela ne veut pas dire pour autant que tous les autres PFAS sont moins dangereux.

Cette situation est encore aggravée par le fait que les fabricants de PFAS ont contré les efforts de réglementation sur le PFOS et PFOA en s'éloignant de ces produits chimiques. Et sans nécessairement les remplacer par des alternatives sanitaires moins contraignantes, comme on pourrait le souhaiter, mais en introduisant d'autres PFAS qui ont des caractéristiques très similaires avec une formule chimique simplement légèrement différente.

Il est évident que l'absence de données de toxicité pour ces composés pratiquement inconnus n'implique pas l'absence de propriétés dangereuses

Deux problèmes spécifiques en lien avec la contamination par les PFAS doivent être traités.

D'une part, nous devons mieux comprendre la toxicité des PFAS en tant que groupe de produits chimiques similaires, plutôt qu'au niveau individuel.

D'autre part, nous avons besoin de nouveaux protocoles analytiques pour étudier les PFAS, capables de détecter et de classer la majorité des PFAS. Il semble nécessaire que ces deux domaines soient développés conjointement.

Les technologies de remédiation sont un autre pilier important dans le cadre de la gestion des PFAS. La liaison carbone-fluor, si caractéristique des PFAS et responsable de la plupart de leurs propriétés particulières, est une liaison chimique très stable. Cela signifie que, dans des circonstances normales, les PFAS ne se dégradent pas.

Plus inquiétant encore, même les technologies de dépollution les plus agressives couramment utilisées telles que l'oxydation chimique ou la désorption thermique ne sont actuellement pas capables de détruire efficacement les PFAS.

Les récents développements de nouvelles technologies ont donné des résultats prometteurs, principalement pour le traitement de la contamination de la zone source dans les sols et les eaux souterraines.

Il s'agit notamment de l'oxydation électrochimique, où l'électricité est utilisée pour générer des radicaux hautement réactifs (radical hydroxyle, radical

superoxyde, radical hydroperoxyde,...) qui peuvent décomposer les PFAS; et le traitement mécano-chimique, où le sol est traité par broyage en présence d'un réactif de co-broyage tel que l'hydroxyde de potassium.

Cependant, des questions importantes subsistent autour de la durabilité de ces technologies : suppriment-elles vraiment les PFAS ? Ou les transforment-elles simplement en PFAS différents, moins connus, qui ne sont actuellement pas analysés ?

Cela nous ramène aux problèmes précédents concernant la nécessité de protocoles analytiques plus robustes. Il faut également des technologies efficaces qui peuvent traiter de manière durable de plus grands volumes de sol et d'eaux souterraines qui sont touchés par une contamination diffuse par des PFAS en faible concentration.

Le groupe ABO, maison-mère d'ERG Environnement, s'intéresse à toutes ces problématiques environnementales et sanitaires liées aux PFAS, et est actuellement impliqué dans plusieurs initiatives et propositions de recherche pour essayer de mettre en œuvre un nouveau cadre de gestion de la contamination par les PFAS.

L'évolution de la réglementation à venir et son anticipation nous permettra d'apporter des conseils pertinents sur ces polluants.

Sandrine AUGY (ERG)

ÉTUDE DE TOXICITÉ

L'étude sur l'étendue de l'impact s'est appuyée sur une revue bibliographique ciblant les expositions, la toxicocinétique, et la toxicité des composés perfluorés les plus communs (PFOS, PFOA, et PFHxS).

Ce travail a tout d'abord permis de constater que l'Homme est exposé via différentes voies tel que l'eau, la nourriture, l'air, mais également via les biens de consommation courants (notamment textile). Cependant l'exposition principale aux PFAS semble se faire par la consommation d'eau contaminée.

De par leur durée de vie importante et leur forte interaction avec les récepteurs nucléaires présents dans les cellules, les perfluorés ont un impact non négligeable sur la santé humaine et peuvent être considérés comme des toxiques. Il est intéressant de constater que les mécanismes de toxicité sont liés à la modulation de l'expression (positive ou négative) de nombreux gènes.

Le PFOS, le PFOA, et le PFHxS par exemple agissent chacun sur plus de 260 gènes. Les effets notables identifiés à ce jour sont :

- Une toxicité hépatique modérée, faisant suite à une stéatose hépatique et à une augmentation du stress oxydant. L'augmentation du stress oxydant est susceptible de devenir un facteur de risque et peut poser de nombreux problèmes, notamment dans un contexte d'exposition à des toxiques multiples.
- Un effet perturbateur endocrinien limité, en ce qui concerne les hormones thyroïdiennes, plus net pour les hormones métaboliques (pouvant conduire à un prédiabète), et marqué dans le cadre des hormones sexuelles (puberté retardée, augmentation de l'œstrogène).
- Une perturbation de la fertilité, limitée chez les hommes et conséquente chez les femmes, très certainement liée à la perturbation des hormones sexuelles.
- Une très forte toxicité périnatale, impactant le développement neurocomportemental mais aussi celui de certains organes tel que le cœur.
- Une perturbation du métabolisme lipidique, générant une accumulation de facteurs de risque pour de nombreuses pathologies cardiovasculaires.
- Une perturbation nette du système immunitaire.
- Un effet pro cancéreux de plus en plus considéré par la communauté scientifique.

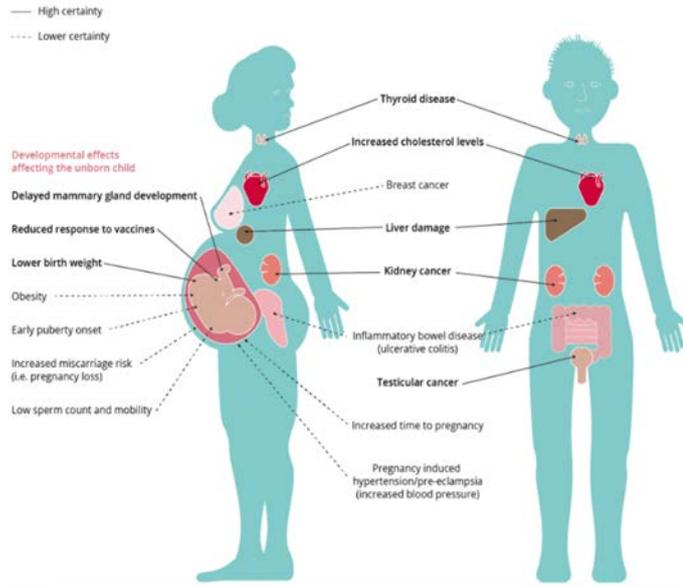


Figure 4 : Impacts des PFAS sur la santé humaine (EEA 2019)

Il semblerait que ces perturbations soient plus importantes dans les populations les plus jeunes. Les nourrissons et les enfants sont plus sensibles au niveau du système nerveux central, comme au niveau du système immunitaire. A titre d'exemple, une multiplication par deux de la concentration en composés perfluorés chez l'enfant conduit à une réduction de près de 50% des anticorps post-vaccinaux.

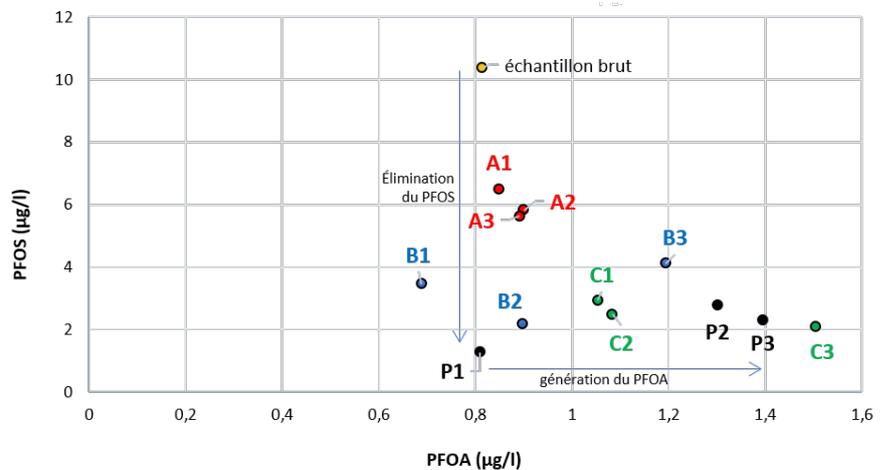
Cette conséquence est constatée dès une concentration plasmatique de 1 ng/L.

En ce qui concerne les valeurs réglementaires relatives à la concentration de ces composés dans l'environnement ainsi que des doses journalières maximales tolérées, il semble que ces seuils soient

en train de se réduire au fur et à mesure des publications. Les doses journalières tolérées publiées semblent élevées, car elles ont été appréciées au regard de la toxicité hépatique, qui est modérée, en négligeant les effets sur le système immunitaire ou endocrinien.

ESSAIS DE TRAITEMENT

Les objectifs de cette étude ont été d'évaluer les impacts de différents traitements classiques, telle que l'oxydation ou la coagulation/floculation, sur plusieurs PFAS individuels, appartenant notamment aux familles des acides carboxyliques perfluorés et des acides sulfoniques perfluorés.



Les traitements sont représentés comme suit : les lettres (et couleur) correspondent chacune à un réactif, les chiffres à 3 doses de ces réactifs). Les flèches illustrent que dès la 1^{ère} dose, le PFOS est dégradé, mais que l'augmentation des doses ne fait que générer plus de PFOA

Figure 5 : Concentrations relatives en PFOS et PFAS lors des tests d'oxydation

Cette étude s'inscrit dans une démarche innovante

Pour conduire ces tests, préférentiellement à une approche visant des conditions artificielles contrôlées en laboratoire, des échantillons collectés sur le terrain ont été utilisés pour se rapprocher du contexte environnemental. Si les résultats sont certes moins aisés à interpréter, ils donnent une image du comportement prenant en compte les interactions des PFAS avec leurs co-polluants présents, notamment dans des eaux d'incendie.

Nos observations

Il a en particulier été démontré une différence de comportement des PFAS en tant que groupe, par rapport aux PFAS pris individuellement.

En fonction des doses et des conditions d'oxydation, la destruction du PFOS par oxydation (jusqu'à 88%) a été confirmée, tout en montrant sa transformation partielle en PFOA.

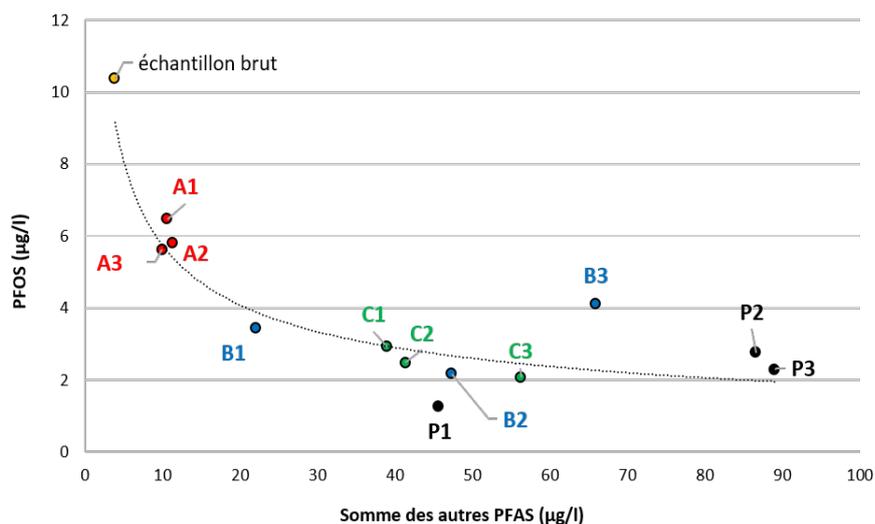
La figure 5 montre la corrélation inverse, entre PFOS et PFOA, relevée lors des essais d'oxydation et le fait que l'augmentation des doses d'oxydant renforce la production de PFOA sans détruire plus de PFOS.

Si l'on considère les 23 PFAS analysés dans cet essai, la corrélation est encore plus marquée (Figure 6), confirmant que de très nombreux précurseurs dans le mélange forment des PFAS par oxydation ; cette caractéristique est mise à profit, lors du procédé analytique TOP (Total Oxidable Precursors).

Si ces procédés d'oxydation montrent leurs limites dans les cas d'application réelles, l'effet de traitement des eaux "plus classiques" a également été étudié.

PFAS (ng/L)	LQ	entrée 21-10-2020	entrée 17-11-2020	entrée 4-12-2020	Sortie 21-10-2020	Sortie 17-11-2020	Sortie 4-12-2020
P3MHpS	15	51	23	42	<15	<15	<15
P4MHpS	15	85	44	83	<15	<15	<15
P5MHpS	15	157	86	160	<15	<15	<15
P6MHpS	15	216	113	211	<15	<15	<15
P35DMHKS	15	<15	<15	15	<15	<15	<15
PFBA	50	67	54	58	<50	<50	<50
PFPeA	50	118	117	117	<50	<50	<50
PFHxA	50	350	279	276	<50	<50	<50
PFHpA	50	125	77	94	<50	<50	<50
PFOA	50	138	123	111	<50	<50	<50
LPfHS	50	126	64	119	<50	<50	<50
PFOS	15	1729	900	1691	<15	32	<15
PFOA	50	138	123	111	<50	<50	<50

Figure 8 : Effet d'un traitement physico-chimique sur les concentrations en PFAS



Les traitements sont représentés comme suit : les lettres (et couleur) correspondent chacune à un réactif, les chiffres à 3 doses de ces réactifs

Figure 6 : Corrélation entre les concentrations en PFOS et autres PFAS lors de traitement s d'oxydation

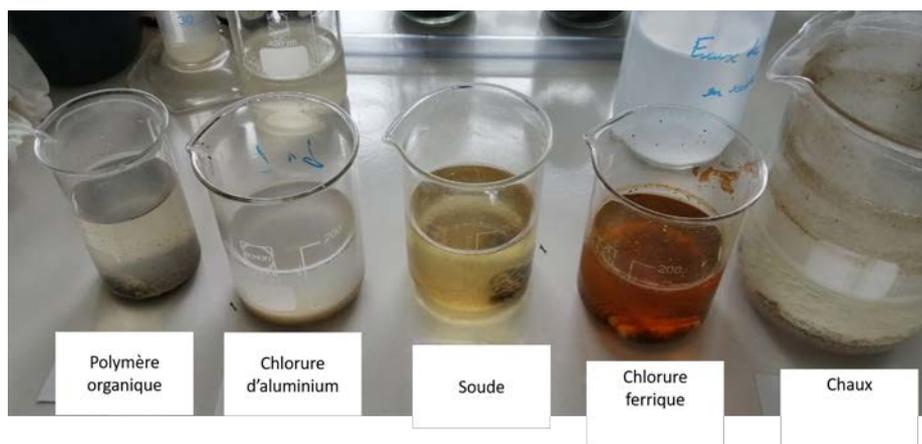


Figure 7 : Comparaison entre différents réactifs de coagulation/floculation

Différents réactifs de coagulation/floculation ont été comparés, avec une filtration sur sable pour retenir les floccs créés.

Les résultats ont montré que le chlorure ferrique était le réactif qui éliminait le plus de PFOS. (Figure 7) et ont été confirmés lors d'une application industrielle de traitement d'effluents souillés aux PFAS : un traitement physico-chimique comprenant une succession d'étape de floculation, décantation et filtration a montré d'excellents rendements épuratoires sur le paramètre « PFAS », pendant plusieurs mois.

Notre hypothèse est que les PFAS, en se combinant avec les particules d'autres polluants, sont entraînés lors des séparations par floculation (figure 8).

En complément, des essais conduits en présence de certaines protéines spécifiques ont montré une grande affinité avec le PFOS par rapport à d'autres individus de la famille des PFAS ; ces résultats sont à confirmer par des expériences en cours.

Laurent THANNBERGER (VALGO)
Eric BRANQUET (ECOFIELD CONSULTING)
Atefa MORAVEV (VALGO)
Hugo CARRONNIER (VALGO)

// DOSSIER : LES POLLUANTS EMERGENTS

ESSAIS DE TRAITEMENT DES PFAS ZONES SOURCES ET PANACHES.

La famille des PFAS (substances per- et polyfluoroalkylés) comprend près de 5 000 produits chimiques artificiels qui, en raison de leurs propriétés uniques, ont été utilisés depuis les années 1940 dans un large éventail d'applications. Du fait de leur toxicité, de leur mobilité et de leur tendance à se bioaccumuler, les PFAS se sont révélés être l'un des contaminants émergents les plus répandus. Au fur et à mesure que les études permettent de mieux comprendre le comportement des différents PFAS, les méthodes de dépollution adaptées à des contaminations par ces composés se précisent. Nous nous sommes intéressés à des solutions envisageables sur chantier pour le traitement de PFAS en zones sources et panaches, par exemple en soil-mixing ou via l'installation de BPR (barrières perméables réactives).

PROBLÉMATIQUE DES PFAS EN SITES ET SOLS POLLUÉS

Les PFAS sont un groupe de molécules synthétiques constituées de chaînes carbonées per- ou polyfluoroalkylés qui leur confèrent une très haute stabilité face aux dégradations chimiques, thermiques ou biologiques.

Cette stabilité a rendu leur usage courant, tant dans le domaine industriel que domestique : lutte contre les incendies (mousses), textile (Gore-Tex®), alimentaire (Téflon™), pour ne citer que quelques exemples. Mais de cette stabilité émergent deux problèmes fondamentaux : la persistance des PFAS émis dans l'environnement (eau/sol) et, potentiellement, leur bioaccumulation.

Ainsi, émerge progressivement la problématique de la dépollution des sites contaminés par des PFAS. La plupart des techniques classiques de dépollution (thermique, oxydation, lavage, filtration, etc.) ont été testées sur ces molécules et s'avèrent soit très onéreuses d'un point de vue énergétique, soit peu efficaces.

Actuellement, le meilleur compromis semble être l'utilisation de milieux adsorbants qui vont capter les molécules de PFAS à leur surface et ainsi les extraire des voies de transferts.

REMEA s'est intéressé, à l'échelle du laboratoire, à la fixation des PFAS sur des milieux adsorbants en vue de leur utilisation dans les travaux de :

- traitement de zones sources fortement impactées via une mise en œuvre par exemple en soil-mixing ;

- traitement de panaches via la mise en place de zones réactives (tranchées drainantes, portes filtrantes).

Ce travail a en partie été réalisé avec Menard Oceania, société sœur portant l'offre REMEA en Australie, où la gestion de la problématique PFAS est plus avancée qu'en France.

LES MILIEUX ADSOR- BANTS D'INTÉRÊT.

Trois milieux adsorbants ont été testés, dans des conditions expérimentales variables (pH, concentration en réactif, temps de contact), sur un mélange d'eau et de sol en provenance d'un site Australien (teneurs en PFAS : 1500 µg/l dans les eaux, 5,5 mg/kg M.S. dans les sols).

Les milieux adsorbants sont de type charbon actif simple (réactif A), charbon actif modifié avec sites réactifs alumineux (réactif B) et argiles réactives modifiées (réactif C). Après 18h de mise en contact avec le mélange pollué, ce sont les réactifs B et C qui offrent les meilleurs résultats d'adsorption, dès le plus faible dosage de 5 % en poids de sol (cf. Figure 1).

En analysant les résultats dans le détail, il apparaît que le réactif B est surtout efficace sur les PFAS possédant des groupements « acide carboxylique » (R-C=O-OH) et son efficacité est peu dépendante de la longueur des chaînes carbonées. Le réactif C est quant à lui plus efficace sur les PFAS possédant des groupements «

acide sulfonique » (R-S=(O)2-OH), à chaîne moyenne ou longue. C'est ce dernier réactif qui donne les meilleurs résultats de l'étude, avec une diminution de la teneur en PFAS dans l'eau de 99,9%.

La compatibilité de ces deux réactifs a été testée pour des traitements de type zone source et panache.

TRAITEMENT DES ZONES SOURCES : SOL + EAU.

Les sols pollués du site australien, possédant des teneurs en PFAS sur brut de l'ordre de 5,5 mg/kg M.S., ont été mélangés avec les milieux adsorbants B ou C (10% en poids de sol), des liants hydrauliques et de l'eau polluée du même site (teneur moyenne : 1500 µg/l).

Les milieux adsorbants stabilisent les polluants via des liaisons électrostatiques et/ou chimiques, tandis que les liants hydrauliques permettent de diminuer la perméabilité. L'ensemble est laissé en maturation puis un essai de lixiviation est réalisé afin de quantifier la proportion de

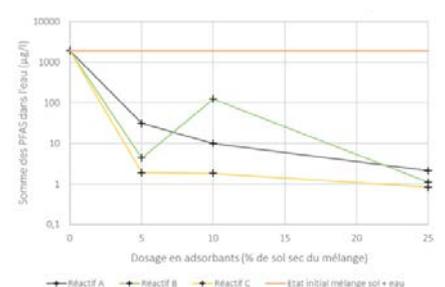


Figure 1 : Efficacité des milieux adsorbants en fonction du dosage

PFAS relarguée dans l'eau (cf. Tableau 1). Le réactif B (charbon actif modifié) est déstabilisé à $\text{pH} > 10$ et relargue les PFAS initialement adsorbés à sa surface. Il est donc peu compatible avec l'utilisation de liants. Le réactif C (argiles) est stable à pH basique et le mélange stabilisé montre un abattement de 99% sur le relargage des PFAS.

TRAITEMENT DES PANACHES – SOL ET EAUX FAIBLEMENT IMPACTÉS .

Les deux réactifs B et C ont ensuite été testés sur un sol ne pouvant être traité par liants hydrauliques (sol agricole), présentant une pollution diffuse de l'ordre de $90 \mu\text{g}/\text{kg}$ M.S., et sur une eau de nappe impactée à $280 \mu\text{g}/\text{L}$.

Le sol

Le sol a été mélangé avec les milieux adsorbants B ou C. De l'eau, non polluée, est passée à travers ce sol une à quatre fois et ses teneurs en PFAS sont mesurées. Sans milieu adsorbant, la somme des PFAS dans l'eau après 1 passage au travers du sol est de $11,7 \mu\text{g}/\text{L}$, tandis qu'elle est de $16,2 \mu\text{g}/\text{L}$ après quatre passages. L'utilisation de milieux adsorbants permet de diminuer d'au moins 80 % la quantité de PFAS lixiviables du sol, toutes expériences confondues (cf. Figure 2).

Après 1 passage, les résultats montrent que l'efficacité du réactif B est de 97 % à un dosage de 1% en poids de sol tandis qu'il faut doser le réactif C à 5 % pour obtenir un abattement proche de celui obtenu avec

Lixiviation ASLP (L/S = 20; 18h)	M = Sol + eau	M + Réactif B	M + Réactif B + liant ($\text{pH} > 10$)	M + Réactif C	M + Réactif C + liant ($\text{pH} > 10$)
Somme des PFAS ($\mu\text{g}/\text{L}$)	228	0,75	245	0,3	0,04
Abattement par rapport à M	-	99,7%	-7,5%	99,9%	100,0%

Tableau 1 : Essais de lixiviation

le réactif B. Lorsque que l'on augmente le nombre de passages de l'eau sur le sol modifié, l'efficacité du milieu C devient équivalente à celle du milieu B pour un dosage de 1%, mais le milieu B reste le plus performant, tous dosages confondus.

Le sol contient initialement 54 % de PFAS avec groupements acide carboxylique, représentés par le PFDA (47 %), le PFNA (3%) et le PFOA (4%). Le reste du signal est porté par le PFOS (46%), possédant un groupement acide sulfonique.

L'eau de percolation seule (sans milieu adsorbant) s'enrichit au premier passage en PFAS de type carboxylique avec 25 % de PFOA et 37 % de PFDA tandis que le PFOS représente seulement 18 % du signal. Après 4 passages, cette tendance diminue avec 22 % de PFOA, 24 % de PFDA et 35 % de PFOS dans le mélange. Cela pourrait expliquer qu'après 4 passages les capacités d'absorption des deux milieux sont équivalentes pour un dosage de 1%.

En fonction du type de PFAS en présence, l'un ou l'autre de ces réactifs semble approprié pour un traitement du sol.

L'eau

L'eau de nappe a été traitée par passage à travers les milieux adsorbants en excès, simulant l'utilisation d'un filtre ou d'une cartouche de BPR.

Pour ces essais, des granulométries

plus élevées des réactifs B et C ont été utilisées (indice g dans le Tableau 2) ; une comparaison avec la granulométrie fine est réalisée pour le milieu C (indice f) ainsi qu'un traitement avec renouvellement de ce milieu adsorbant fin (indice f-2 dans le Tableau 2).

L'analyse de la somme des PFAS montre là encore de bons résultats avec un abattement des teneurs totales dans l'eau de l'ordre de 92 % avec les milieux adsorbants grossiers, de 97 % avec les milieux à granulométrie fine et jusqu'à 99 % lorsque le milieu adsorbant est renouvelé (filtre en série). Ici c'est le PFHxA, représentant initialement 93 % du signal dans l'eau, qui est majoritairement adsorbé.

CONCLUSION

L'ensemble de ces essais a montré le fort potentiel des milieux adsorbants de type charbon actif alumineux ou argiles modifiées pour limiter la migration de PFAS dans les sols et les eaux souterraines, tant en zones sources (pollution concentrée) que dans les panaches.

Un traitement de soil-mixing peut être envisagé pour traiter les pollutions concentrées, via l'utilisation d'argiles modifiées dans le mélange de stabilisation. La mise en œuvre est simple, avec l'ajout de ce réactif adsorbant à granulométrie fine en suspension dans le coulis de traitement. Pour des sols plus faiblement pollués, l'amendement d'argiles modifiées ou de charbon alumineux permet de limiter la lixiviation des PFAS dans les eaux de percolation (ex : eau météorologique). Enfin le traitement des panaches de PFAS en milieu saturé pourra être réalisé par passage à travers une zone réactive de type BPR ou tranchée drainante contenant les milieux filtrants testés dans cette étude.

Pour le dimensionnement de l'ensemble de ces solutions, il faut prendre en compte la spécificité des PFAS en présence comme la longueur de leurs chaînes carbonées et les groupes caractéristiques les constituant (sulfoniques ou carboxyliques) afin de proposer le traitement le plus adapté. Face à ces spécificités, la réalisation d'essais laboratoires et/ou d'essais pilotes sur site, intégrés dans la réalisation d'un Plan de Conception des Travaux (PCT), est essentielle pour l'évaluation de la faisabilité technique des travaux.

Essais	Milieu adsorbant	Somme des PFAS		Abattement
		$\mu\text{g}/\text{L}$		
Eau sans traitement (Etat initial)	-	278,8		-
Passage sur milieu adsorbant en excès (filtre)	Réactif B _g	20,8		93 %
	Réactif C _g	22,8		92 %
	Réactif C _f	10,1		96 %
	Réactif C _{f,2}	3,2		99 %

Tableau 2 : Comparaison des milieux adsorbants

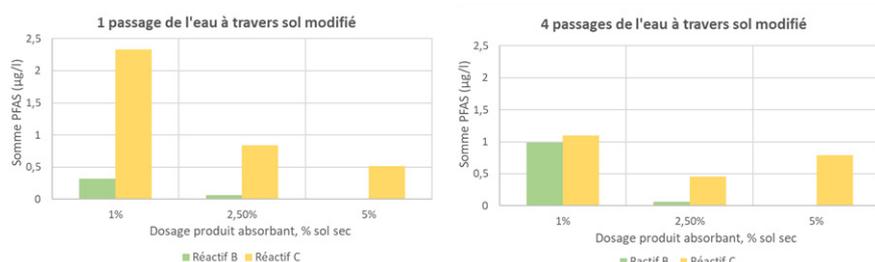


Figure 2 : Passage à travers un sol modifié

PFAS : Per/Poly fluoroAlkyl Substances	PFOA : Perfluorooctanoic acid	PFDA : Perfluorodecanoic acid
PFOS : Perfluorooctansulfonic acid	PFNA : Perfluorononanoic acid	PFHxA : Perfluorohexanoic acid

Marika SALLOT-DES-NOYERS (REMEA)
Malorie DIERICK (REMEA)

// DOSSIER : LES POLLUANTS EMERGENTS

LE PFAS-D

UNE FUTURE TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT DES EAUX INNOVANTE

Les polluants organiques persistants tels que les PFAS, de par leurs caractéristiques physico-chimiques, représentent un challenge en termes de traitement des eaux. Le système de traitement dit PFAS-D développé par Ramboll permet la destruction complète des PFAS limitant ainsi leur remobilisation dans l'environnement.

GÉNÉRALITÉS

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) sont des molécules fluorées synthétisées depuis la fin des années 40.

Appréciées pour leurs propriétés tensioactives et leur stabilité, ces molécules sont notamment utilisées dans les industries chimique, textile, électronique, cosmétique, les emballages alimentaires et sont également les composants principaux de certaines mousses d'extinction incendie de type Agent Formant un Film Flottant (AFFF ou agent filmogène) utilisées dans les bases militaires et les aéroports. (Figure 1)

Leur emploi généralisé ainsi que leur persistance leur ont permis de se répandre et de s'accumuler dans l'environnement et les organismes vivants tout autour du globe. L'ubiquité et la toxicité, aujourd'hui reconnues, des PFAS traduisent la nécessité de développer des solutions de dépollution adaptées.

Aujourd'hui un nombre limité de solutions de traitement des eaux existe. Néanmoins elles demeurent controversées et ne garantissent pas une destruction complète des PFAS en raison de la difficulté à casser les liaisons carbone - fluor.

Les technologies les plus communes consistent à piéger les PFAS présents en solution sur des supports (charbons actifs ou résines) ou à les filtrer (nanofiltration ou osmose inverse).

L'inconvénient majeur de ces méthodes repose sur la nécessité d'un post-traitement. Celui-ci, communément réalisé par incinération ou envoi en centre de stockage, peut engendrer la remobilisation des PFAS sous forme gazeuse ou aqueuse



Figure 1 : Exemples d'activités sources de PFAS

dans l'environnement. La pollution est alors déplacée.

Des solutions de traitement destructif des PFAS existent, mais des défis et des incertitudes relatifs à leur performance demeurent pour bon nombre de ces technologies en raison de la difficulté à rompre les liaisons carbone-fluor.

Ces défis comprennent : de faibles rendements de traitement pour les composés fluorés à chaîne courte, la production de composés PFAS à partir de précurseurs oxydables, la génération d'acide fluorhydrique, et plus particulièrement la forte demande énergétique associée à la rupture de la liaison carbone-fluor.

Un obstacle significatif à la remédiation des PFAS est l'hétérogénéité de l'efficacité des traitements en fonction des composés traités. En effet, la plupart des solutions de traitement permettent de dégrader ou de capturer les PFAS dotés d'une longue chaîne perfluorée (long-chains).

Après traitement, les teneurs en PFAS à chaînes courtes (les short-chains) restent souvent inchangées voire augmentent suite à la dégradation des précurseurs.

Le challenge réside dans la destruction complète des PFAS limitant ainsi les responsabilités à long terme. (Figure 2)

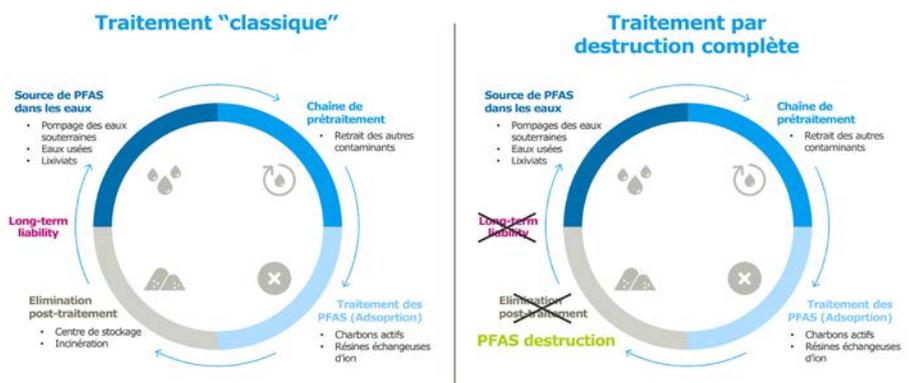


Figure 2 : Cycle de traitement des PFAS dans les eaux et avantage de la destruction des PFAS par rapport à des techniques de traitement plus classiques

HOW IT WORKS

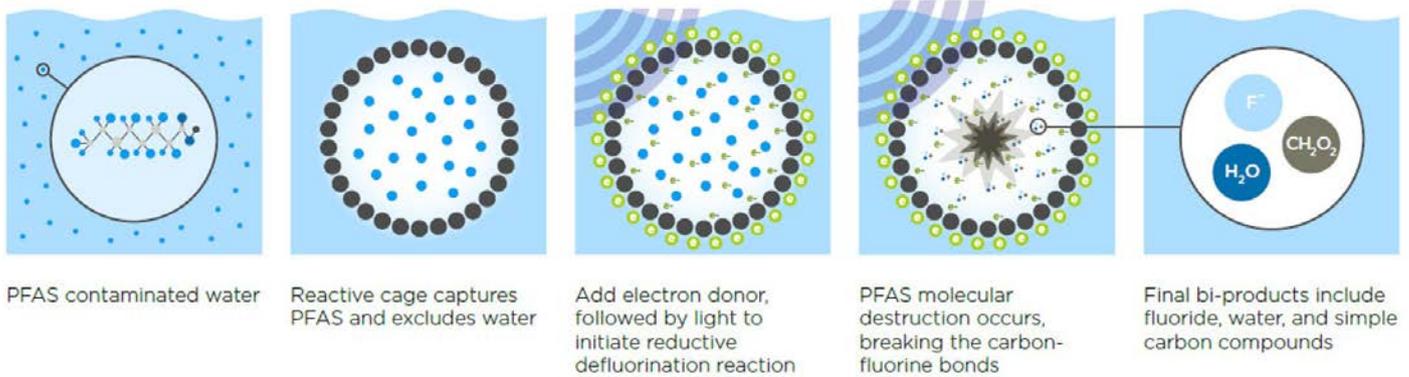


Figure 3 : Fonctionnement du PFAS-D

LA DÉFLUORATION PAR RÉDUCTION – FONCTIONNEMENT DU PFAS-D

Denise Kay et Meng Wang de la société Ramboll ont développé aux USA le système de traitement des eaux dit PFAS-D. Elles ont démontré que cette technologie est une solution de traitement des eaux qui permet la minéralisation complète des PFAS présents en solution dans l'eau qu'ils soient à chaîne longue ou à chaîne courte sans production de produits de dégradation toxiques. (Figure 3)

La réaction mise en œuvre est la défluorination par réduction photo-activée. L'efficacité de cette méthode a été démontrée par Chen et al. (2020) et peut être expliquée en quelques étapes :

Un tensioactif est d'abord ajouté dans l'eau contaminée par les PFAS. Celui-ci s'auto-assemble en micelles pour former une

cage réactive qui permet de piéger les PFAS présents en solution dans l'eau. (Figure 4)

La partie hydrophobe des PFAS (chaîne aliphatique et perfluorée) se place au centre de la micelle tandis que les extrémités hydrophiles des molécules se positionnent en périphérie. Un donneur d'électron est ensuite apporté dans la solution et qui se place à la surface des micelles.

Une fois la cage réactive créée, la réduction est déclenchée par l'apport d'énergie lumineuse générée par une lampe à ultraviolet (UV).

L'énergie lumineuse conduit à l'excitation du donneur d'électron qui libère un électron et détruit la liaison carbone-fluor. Une réaction en chaîne est alors déclenchée et la chaîne perfluorée de chaque PFAS est peu à peu réduite.

Si la réaction est poursuivie pendant une durée suffisante, l'ensemble des PFAS (short-chains et long-chains) est dégradé en ions fluorures, en eau et en composés carbonés simples de type acide

méthanoïque et acide acétique (Chen et al. 2019). Le pH ne change pas pendant la réaction et aucun produit de réaction toxique n'a été identifié au terme du mécanisme réactionnel qui notamment, ne produit pas d'acide fluorhydrique.

ESSAIS EN LABORATOIRE

Le PFAS-D a été testé dans les laboratoires de Ramboll. Son efficacité a été démontrée sur des échantillons environnementaux complexes sans pré-traitement avec des conditions physico-chimiques variées (conditions aérobies, anaérobies, pH variant entre 3 et 12) mais également directement sur les mousses incendies très concentrées en PFAS (AFFF présentant des concentrations en PFOS de l'ordre de 5 mg/L ou 5 000 000 ng/L).

Les tests présentés ci-après concernent les matrices suivantes : lixiviat industriel, eau de surface et lixiviat de décharge municipale. La dégradation des produits a

Création d'une cage réactive par autoassemblage des micelles.

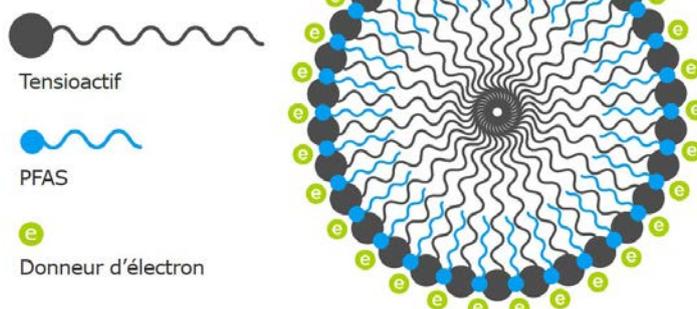
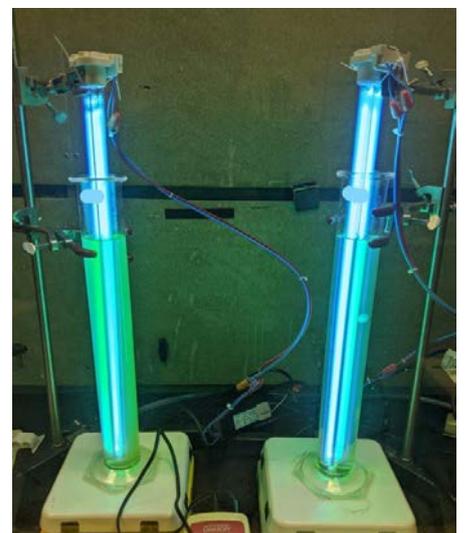


Figure 4 : Création d'une cage réactive par autoassemblage des micelles.



Banc d'essai – Lampes UV

pu être suivie en temps réel en mesurant les concentrations en fluorure à l'aide d'une électrode sélective d'ions.

Lixiviat industriel : L'échantillon était issu d'un lixiviat industriel incolore contaminé principalement par du PFOS à hauteur de 2 300 ng/L. A l'issue de l'expérimentation réalisée sur une durée limitée, 97 % du PFOS a été dégradé sans entraîner la formation d'autres PFAS. Sur la base d'autres expérimentations similaires, une durée d'exposition ou une intensité lumineuse plus importante aurait conduit à la minéralisation complète du PFOS en solution.

Eau de surface : L'échantillon provenait d'une eau de surface prélevée à proximité d'une usine de production contaminée principalement par des PFCAs*. Comme indiqué sur le graphique ci-après, les concentrations en PFCA* et en HFPO-DA* (plus connu sous l'appellation GenX) ont diminué. La concentration en PFOA* a diminué d'environ 95% (de 950 à 50 ng/L).

Lixiviat de décharge municipale : L'échantillon était un lixiviat de décharge municipale riche en matières en suspension et contaminé par divers PFAS* (PFCAs, PFSA*, FTS*,...). Lors de cet essai, le PFAS-D a permis de réduire les concentrations en polluants malgré la turbidité de l'échantillon qui a limité la capacité de pénétration de la lumière et donc l'efficacité du traitement.

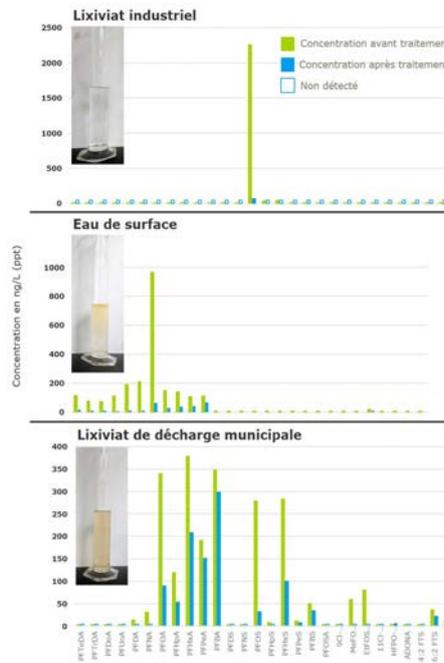


Figure 5 : Essais en laboratoire



Figure 6 : Le traitement à grande échelle utilisera des équipements commerciaux existants

CHALLENGES FUTURS ET ÉTAT DE DÉVELOPPEMENT

L'application sur site de la technologie de PFAS-D nécessite de relever les défis habituels associés aux composantes spécifiques aux sites.

Une attention particulière devra être portée à la présence dans les eaux traitées de tensio-actifs résiduels utilisés dans la réaction et qui ne sont pas dégradés lors du mécanisme réactionnel.

Casser la liaison carbone-fluor nécessite une grande quantité d'énergie. En conséquence, les besoins d'exposition aux UV limitent le traitement à des débits de l'ordre de quelques m³/heure en tenant compte des équipements commercialement disponibles actuellement. (Figure 6)

Un site présentant des débits élevés nécessitera probablement une étape de pré-concentration avant traitement par PFAS-D.

Les premiers essais de conception ont été menés aux USA pour l'application à grande échelle du PFAS-D en utilisant des équipements commercialement disponibles. Un système de test pilote de terrain mobile est en cours de conception.

BILAN

Le PFAS-D, technologie de traitement des eaux innovante, permet de réduire significativement les concentrations de l'ensemble des PFAS (chaînes longues et courtes) en les détruisant définitivement, sans générer de sous-produits toxiques.

Cette technologie est prête pour la réalisation d'essais de traitabilité en laboratoire ainsi que d'essais pilote de terrain en vue de la mise en œuvre à l'échelle de sites. (Figure 7)

PFOS : Acide perfluorooctanesulfonique	PFCA : Acides carboxyliques perfluorés	HFPO-DA : Acide 2,3,3,3-tétrafluoro-2 (heptafluoropropoxy) propionique
PFOA : acide perfluorooctanoïque	PFSA : Acides perfluorosulfoniques	FTS : Fluorotélomères sulfonates



Figure 7 : Stade de développement

Qu'est-ce que le PFAS Destroyer ?	Une technologie de traitement des eaux qui utilise les UV pour stimuler une réaction de défluoruration réductrice. Les PFAS sont minéralisés en eau, fluorure et composés carbonés simples.
Avantages	Succès des tests avec des concentrations initiales de PFAS de 0,7 µg/L à 40 mg/L, des mélanges environnementaux complexes, AFFF, pH 3-12, aérobies et anaérobies, et des concentrations finales <4 ng/L pour les composés individuels.
Améliorations en cours	Gains d'efficacité et d'amélioration des coûts en se concentrant sur les principales variables de réaction en laboratoire.
Mise en œuvre	Essais de conception réalisés pour la mise en œuvre à grande échelle en utilisant des équipements commercialement disponibles. Système de test pilote de terrain mobile en cours de conception.
Futures étapes	Les activités en cours et à venir comprennent des tests de traitabilité et l'identification de sites d'essai pilote de terrain pour une mise en œuvre à grande échelle.

Frédéric LEVEAU (RAMBOLL)
 Manon CHARLES-CASINI (RAMBOLL)
 Denise KAY (RAMBOLL)
 Meng WANG (RAMBOLL)

// DOSSIER : LES POLLUANTS EMERGENTS

REHABILITATION DES EAUX SOUTERRAINES IMPACTÉES PAR L'ION PERCHLORATE

Les perchlorates d'origine anthropique sont des oxydants puissants utilisés principalement dans la fabrication des propulseurs composites (produit de propulsion des moteurs de fusées, missiles...) et divers dispositifs pyrotechniques (feux d'artifice, airbags, etc.). Les sels de perchlorate sont persistants, très solubles dans l'eau (200 g/l à 25°C pour le perchlorate d'ammonium) et se dissolvent rapidement (quel que soit le pH.) sous forme anionique ClO₄⁻.

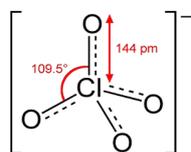
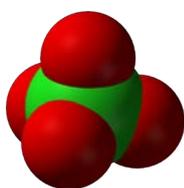
Dans l'environnement, ces propriétés confèrent à l'anion un comportement analogue à un traceur parfait, très mobile dans le sol et les eaux souterraines (faible capacité d'adsorption et faible biodégradation naturelle).

De nombreux travaux réalisés aux Etats-Unis d'Amérique décrivent les technologies applicables au traitement du perchlorate (cf. synthèse référence publiée par l'Interstate Technology & Regulatory Council en 2007). Les techniques éprouvées pour le traitement des nappes polluées par perchlorate sont soit biologiques soit physiques.

EXEMPLE D'UNE STRATEGIE DE REHABILITATION

Un site industriel exploitant le perchlorate d'ammonium utilisé durant plusieurs décennies a dû réhabiliter les eaux souterraines au droit de son emprise pour réduire son impact vis-à-vis de cibles extérieures (captage d'Alimentation en Eau Potable notamment, présentant un seuil réglementaire de potabilité très faible 4 µg/l). L'ion perchlorate s'est infiltré dans les eaux souterraines à l'aval d'ateliers de production (nappe phréatique dans un réservoir silicoclastique interstitiel et nappe captive dans un réservoir calcaire fissuré).

La sensibilité importante de ces cibles



impliquait la mise en place d'actions rapides de réhabilitation visant à supprimer les transferts dans l'environnement extérieur au site via la migration des perchlorates dissous dans les eaux souterraines (installation d'une barrière de confinement hydraulique multiniveaux).

les efforts ont également été portés sur la résorption des sources sols (excavation et traitement biologique sur site) et des sources primaires en nappe (traitement biologique par réduction anaérobie in-situ – procédé Bionappe®).

Au fur et à mesure de la maîtrise des

transferts hors-site, le dispositif de pompage-traitement a été progressivement déployé en aval des zones sources en cours de traitement, afin de résorber plus rapidement la présence de perchlorate dans les panaches en nappe (figure 1)

ANTEA GROUP a accompagné le Maître d'Ouvrage pour le traitement d'une des zones impactées sur le site à travers des prestations variées d'études environnementales et d'ingénierie des travaux de réhabilitation (Maîtrise d'œuvre et expertises techniques notamment).

SUEZ REMEDIATION est intervenu pour la conception et la mise en œuvre de l'ensemble des travaux de réhabilitation sur le périmètre concerné, depuis la déclinaison opérationnelle des scénarii de gestion jusqu'à leur exécution (essais-pilotes, exploitation des systèmes de traitement, optimisations continues).

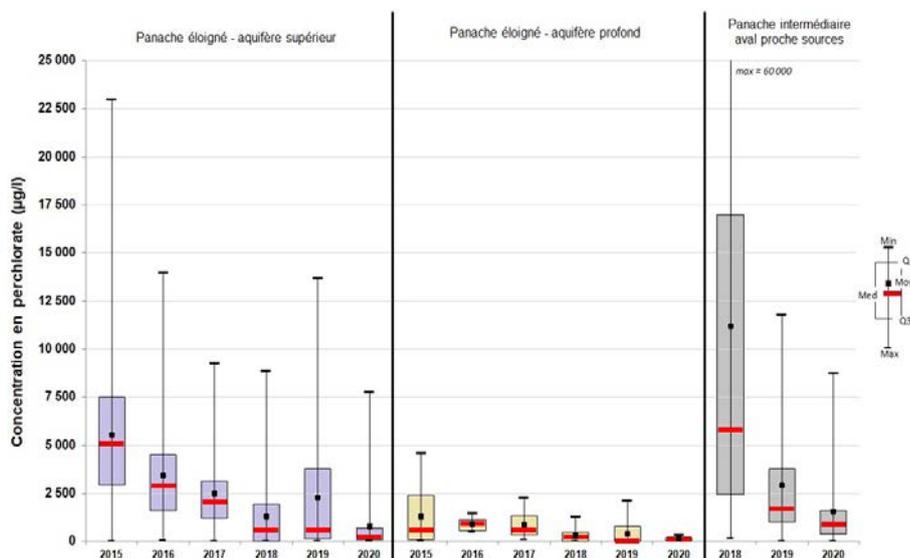


Figure 1 : Evolution des panaches



TRAITEMENT DES ZONES SOURCES : RÉDUCTION DU PERCHLORATE PAR DÉGRADATION BIOLOGIQUE EN ANAÉROBIE IN-SITU

Deux méthodes de traitement ont été envisagées et testées via des pilotes de terrain :

- Pompage puis traitement sur biofiltre planté de roseaux. Cette technique a été envisagée en alternative/optimisation à la filtration du perchlorate sur résines échangeuses d'ions.
- Traitement biologique par réduction anaérobie in-situ : (procédé Bionappe® anoxie). Ce type de traitement est très adapté au contexte du site (milieu industriel, présence de bâtiments, zones peu accessibles). Il a contribué à la résorption des impacts dans la nappe en supprimant l'alimentation des panaches, et à la réduction de la durée d'exploitation du dispositif de pompage-traitement.

MISE EN ŒUVRE DES SOLUTIONS DE TRAITEMENT)

CONFINEMENT HYDRAULIQUE : POMPAGE/TRAITEMENT DES EAUX PERCHLORATÉES ISSUES DU PANACHE DE POLLUTION

Afin de stopper la migration hors site du perchlorate présent dans les eaux souterraines dans la zone concernée, un confinement hydraulique a été mis en place au niveau des deux aquifères présents au droit du site. Les perchlorates sont traités au niveau d'une unité de traitement des eaux de 50 m³/h via filtration sur **résines échangeuses d'ions**. Cette technique couramment utilisée dans le traitement d'eau pour capter des ions en excès, a été utilisée pour fixer l'ion perchlorate à la place de l'ion chlorure. Ces résines, non

régénérables, ont pu être éliminées par incinération une fois saturées.

TRAITEMENT DU PERCHLORATE SUR RESINES ECHANGEUSES D'IONS

Le traitement sur résine échangeuse d'ions est un procédé fiable et robuste qui confère un abattement des teneurs en perchlorate en sortie de traitement à plus de 99% permettant ainsi un respect des seuils de rejet autorisé. Ce processus reste néanmoins très coûteux, notamment en lien avec la consommation importante de résines.

Compte tenu de l'évolution des teneurs en perchlorate en entrée d'unité au cours du temps, et du coût significatif du traitement des perchlorates sur résines, un bilan technico économique a été réalisé par SUEZ REMEDIATION afin de trouver le meilleur compromis (efficacité VS prix). Les résines testées sont les suivantes :

- Résines fournisseur 1 : X et Y
- Résines fournisseur 2 : Z

La figure 2 présente le taux de captation

des résines (g/l) en fonction des teneurs en perchlorate (mg/l) sur la base des données fournisseurs et du retour d'expérience opérationnel.

En couplant la performance au coût de mise en œuvre et d'exploitation, une résine a été privilégiée (résine économique, dont le taux de chargement en perchlorate reste en dessous de la classification pyrotechnique).

En six ans d'exploitation, au niveau de l'unité de traitement des eaux souterraines, ce sont :

- Plus d'1 million de m³ d'eau souterraine pompée qui ont été traités
- 4,5 T de perchlorates qui ont été captées et éliminées
- Un rendement de filtration des perchlorates sur résines de 99,6 %
- Le respect accru des seuils de rejet (99,3% de rejets conformes)

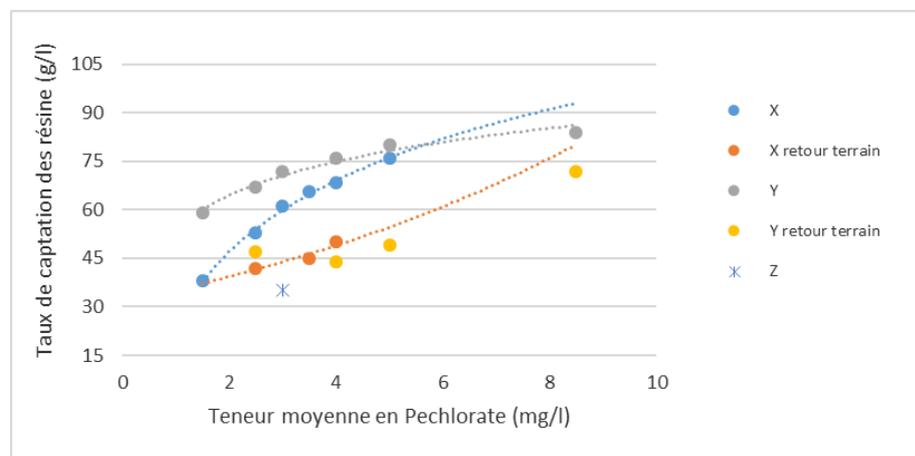


Figure 2 : Taux de captation des résines

TRAITEMENT DU PERCHLORATE PAR FILTRATION SUR BIOFILTRE PLANTE DE ROSEAUX

Afin de disposer d'une alternative au traitement sur résine, un pilote de traitement via un biofiltre planté de roseaux a été réalisé en 2014/2015. La faisabilité du procédé a préalablement été validé via un essai en laboratoire réalisé par SUEZ REMEDIATION.

Principe

Le biofiltre se compose d'un support bactérien granulaire minéral saturé en eau dans lequel circule l'eau à traiter issue du pompage en nappe. L'eau est enrichie en carbone pour permettre la consommation de l'oxygène dissous dans l'eau puis le passage en anoxie, condition d'environnement favorable à la biodégradation des nitrates et des perchlorates. Les substrats carbonés nécessaires à la biodégradation sont apportés sous forme solide ou sous forme liquide. En sortie de biofiltre, les eaux sont réinjectées en nappe.

Objectifs du pilote

L'essai pilote de terrain avait pour objectif de confirmer la faisabilité du traitement avec les eaux du site, et de vérifier les principaux paramètres de dimensionnement : temps de dégradation du perchlorate, hydraulique du procédé, typologie, qualité et quantité de substrat carboné à apporter au milieu, qualité des eaux en sortie de procédé (teneur en perchlorate, concentration résiduelle en substrat carboné, présence de sous-produits de dégradation).

L'essai a été suivi mensuellement sur le terrain et en laboratoire, avec réalisation de mesures physico-chimiques et analyses du perchlorate, COT (Figures 3 et 4)

Résultats obtenus

- Temps de séjour des eaux dans le biofiltre de quelques heures
- Teneurs en perchlorates en entrée de process (environ 10 mg/L en moyenne)
- Performance étroitement liée aux apports en carbone

A l'issue du pilote, ce traitement - bien qu'efficace - n'a pas été retenu dans la zone concernée pour les raisons suivantes :

- Débits importants et seuils de rejets très bas non compatibles avec le procédé
- Au niveau des zones sources : traitement biologique in-situ retenu



Biofiltre plante de roseaux

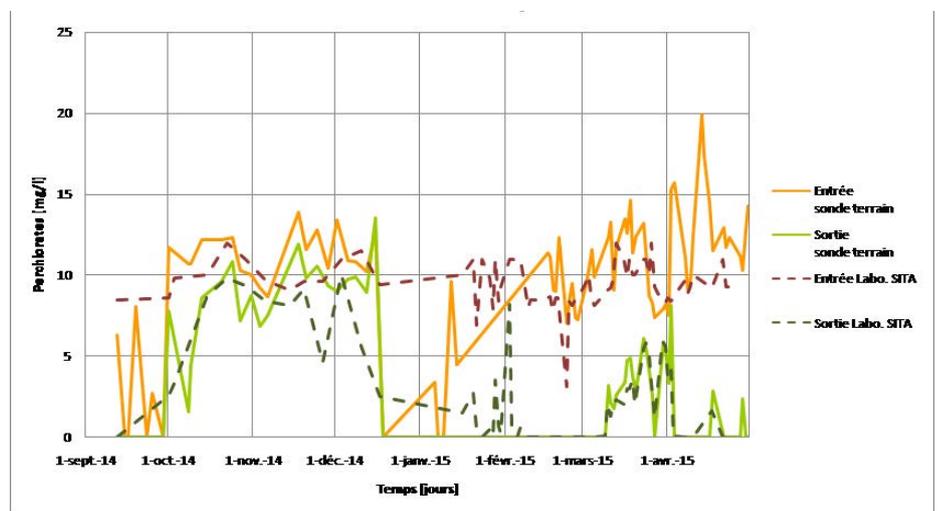


Figure 3 : Suivi des teneurs en Perchlorate

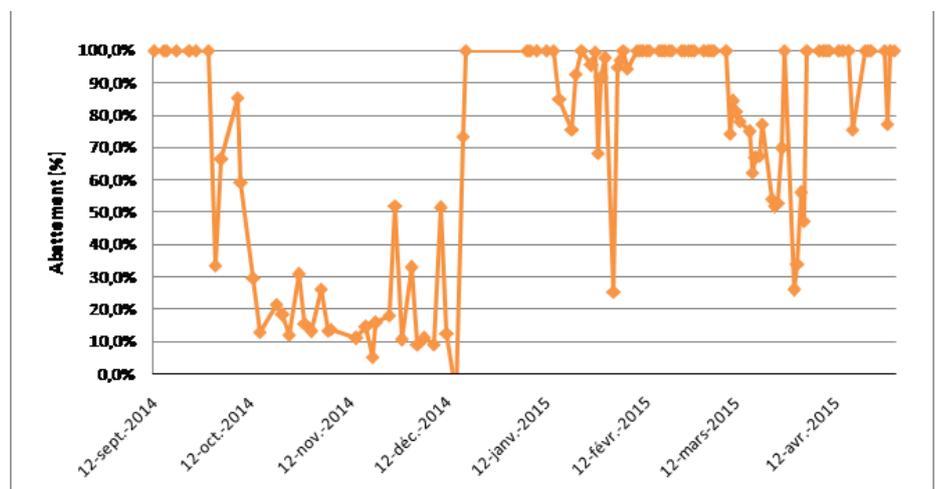


Figure 4 : Suivi de l'abattement moyen en perchlorate

TRAITEMENT DU PERCHLORATE PAR TRAITEMENT BIOLOGIQUE EN ANOXIE IN-SITU (Bionappe®)

Les deux principales zones sources ciblées pour le traitement Bionappe® se situent le long d'un réseau pluvial ayant collecté du perchlorate et en aval des zones de production.

La mise en œuvre du traitement a préalablement été validée par un pilote terrain avant d'être déployée pour le traitement in-situ des zones sources.

Principe

Le traitement biologique en anoxie in-situ Bionappe® consiste en l'ajout d'une source carbonée directement dans le milieu eaux souterraines, visant au développement de micro-organismes spécifiques, qui utiliseront le perchlorate comme accepteur final d'électrons. (Figure 5)

La rémanence de la source carbonée dans le milieu, la présence de microorganismes adaptés dans le sol et leur capacité à mobiliser le carbone comme source primaire de leur métabolisme sont des paramètres essentiels à la réussite du traitement.

Dimensionnement mis en œuvre

Sur la base des données acquises, une approche par front a été privilégiée.

Front 1 à 3 ➔ traitement de la source le long du réseau EP

- 30 injecteurs doubles niveaux implantés dans le premier aquifère et répartis sur 3 fronts disposés en cascade perpendiculairement au sens d'écoulement

Front 4 ➔ traitement de la source en aval des zones de production

- 21 injecteurs simples implantés dans le premier aquifère + 2 injecteurs simples implantés dans l'aquifère sous-jacent

Front 5 ➔ traitement de la source en aval des zones de production

- 17 injecteurs simples implantés dans le premier aquifère + 15 injecteurs simples implantés dans l'aquifère sous-jacent (Figure 6)

4 années de traitement

25 campagnes d'injections et de monitoring sur 45 piézomètres de surveillance

130 m³ de mélasse de canne, 20 m³ de micro-émulsion d'huile végétale consommées

Monitoring du COT comme indicateur biologique (rapidement consommé)

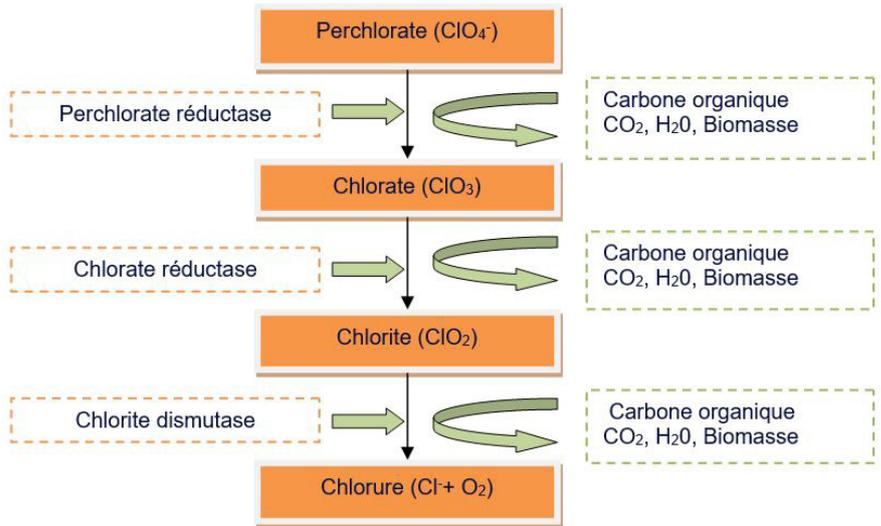


Figure 5 : Chaîne de dégradation du perchlorate

Résultats obtenus

Les fronts de traitement biologique ont montré une efficacité supérieure à 90 %, avec des concentrations résiduelles nettement réduites (< 100 µg/l en aval des bioréacteurs, comparables à celles autorisées pour les rejets dans le milieu naturel).

SYNTHESE DE LA REHABILITATION

L'atténuation des impacts en zones sources a sécurisé la maîtrise des transferts vers les récepteurs sensibles en aval, acquise dès les premiers mois de confinement hydraulique (respect des objectifs quantitatifs de protection des cibles : réduction de la contribution en perchlorate dans les eaux superficielles à moins de 1 µg/l, et dans le captage AEP à moins de 4 µg/l, conformément à l'Arrêté de prescription).

Ces résultats ont permis la mise à l'arrêt de l'ensemble des traitements du perchlorate sur le site (notamment la barrière hydraulique) et la pérennité de la remise en exploitation du captage AEP. Un suivi post traitement est en cours.

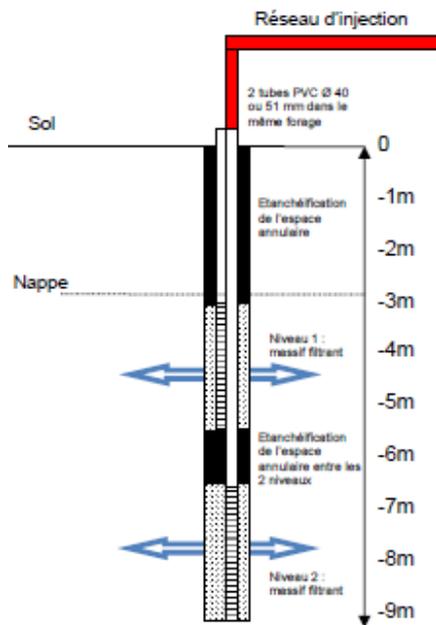


Figure 6 : Schéma d'un injecteur

Camille LORANT (SUEZ REMEDIATION)
Baptiste GRAPTON (ANTEA GROUP)

// DOSSIER : LES POLLUANTS EMERGENTS

RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT : DES ZONES HUMIDES ARTIFICIELLES POUR TRAITER LES EAUX CONTAMINÉES EN PESTICIDES

Le projet Européen LIFEPOPWAT vise à reproduire les capacités d'épuration des zones humides naturelles grâce à une succession de filtres plantés réactifs artificiels pour traiter des eaux contaminées en pesticides, notamment le lindane.

DES FILTRES NATURELS

Marais doux ou salés, prairies humides, lagunes, forêts alluviales, tourbières, mangroves, vasières ou encore vallées alluviales, les zones humides naturelles sont des milieux fragiles dont l'état continue malheureusement de se dégrader.

Ces zones humides rendent pourtant à l'homme de nombreux services : réservoirs hydriques naturels, protection vis-à-vis des inondations, réservoirs de biodiversité. Elles participent également à la lutte contre le réchauffement climatique en stockant une part très importante de carbone.

Les zones humides sont également des filtres naturels grâce à leur fonction tampon (rétention par sédimentation du phosphore, des métaux, des microbes pathogènes et des produits phytosanitaires) et leur fonction épuratoire (dénitrification de l'azote et biodégradation des polluants)¹.

LE LINDANE, UNE PROBLÉMATIQUE MAJEURE EN EUROPE

Le lindane (γ -hexachlorocyclohexane) est un insecticide massivement utilisé dans l'agriculture intensive à partir des années 50.

Il a également été utilisé pour des usages pharmaceutiques comme le traitement de la gale et l'élimination des poux. Au début des années 90, la toxicité du lindane et sa bioaccumulation ont été mises en évidence suite notamment aux décès de dizaines de vaches qui broutaient sur une décharge de déchets de lindane.

La production de lindane a généré des quantités très importantes de déchets ; en effet pour la production d'un kilogramme de lindane, 10 kg de résidus (isomères HCH) étaient produits et considérés comme des déchets.

La production de lindane fût interdite en Europe en 2007.

Les isomères de l'hexachlorocyclohexane ($\alpha/\beta/\gamma/\delta/\epsilon$ - HCH) et leurs produits de transformation tels que le chlorobenzène (CB) sont des polluants récalcitrants et posent de sérieux problèmes sur de nombreux sites en Europe et dans le monde. Les isomères $\alpha/\beta/\gamma/\delta$ -HCH sont même définis dans la convention de Stockholm (2009) comme Polluants Organiques Persistants (POP).

Les études et notamment celle dirigée par Martina Shonard (European Parliament, comitee on Petitions, 2016) suggèrent que la production d'HCH, majoritairement réalisée en Europe a généré plus de 250 000 tonnes de déchets au sein d'une quarantaine de méga-sites installés dans 14 pays différents.

Le projet en cours « HCH in EU » piloté par TAUW suggère plutôt qu'il s'agirait de 4 millions de tonnes de déchets dispersés dans des décharges et disséminés dans l'air². Ce projet vise à produire un outil cartographique public voué à recenser le maximum de sites impactés en HCH grâce à la collecte d'informations dans chaque pays européen.

Le projet va également permettre de partager les meilleures techniques de gestion de ces méga-sites, de recenser de nouvelles innovations capables d'améliorer cette gestion pour enfin apporter sur les

quelques sites sélectionnés un soutien technique enrichi et innovant.

D'autres projets européens ont étudié des technologies d'élimination de la source de pollution ou de traitement des eaux souterraines contaminées.

Cependant, jusqu'à présent, ces projets n'ont pas permis de mettre au point des techniques déployables sur le terrain à un coût raisonnable.

Quand des financements sont disponibles, l'excavation et l'évacuation hors site restent les solutions privilégiées mais les coûts importants font que la majorité des sites ne peuvent les mettre en œuvre...

Et si la source ne peut pas être retirée ou traitée, des solutions de confinement sont alors envisagées pour couper les voies de transfert (barrière hydraulique ou encapsulation).

Cependant, ces confinements sont difficilement parfaits et la fuite des HCH et CB par drainage vers les eaux souterraines ou les eaux de surface reste une cause potentielle de dommages importants.

L'INNOVATION WETLAND+® POUR TRAITER LES EAUX CONTAMINÉES PAR DES PESTICIDES

LIFEPOPWAT est un projet européen, démarré il y a un an pour une durée de quatre années, qui promeut une technologie innovante inspirée des zones humides pour le traitement des eaux contaminées par le lindane et autres pesticides.

¹Inspiré du rapport « Terres d'Eau ; Terres d'Avenir : Faire de nos zones humides des territoires pionniers de la transition écologique », Frédérique Tuffnell et Jérôme Bignon, janvier 2019

²The HCH in EU

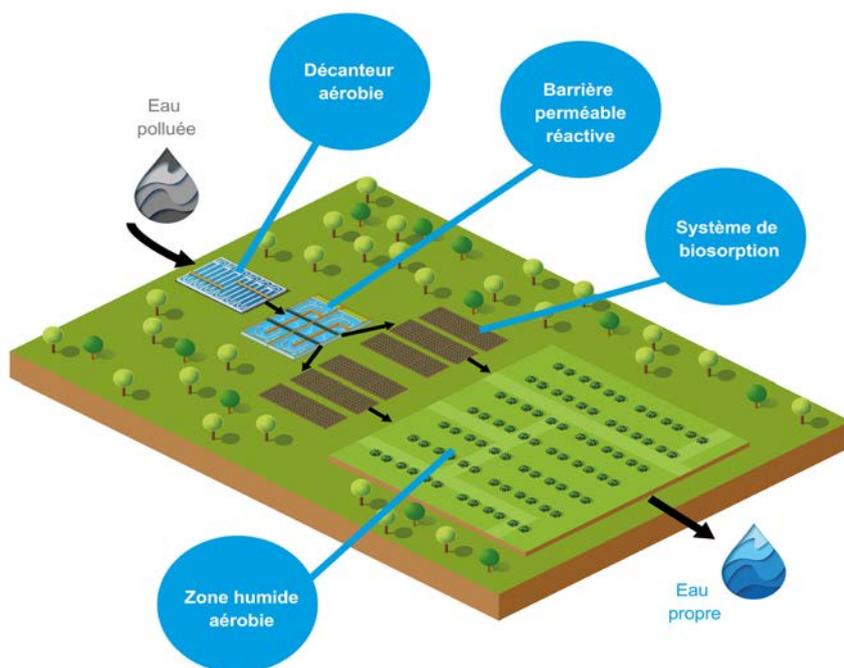


Schéma conceptuel du procédé Wetland+®

C'est une technologie robuste, demandant peu de maintenance, se fondant parfaitement dans le paysage et beaucoup moins chère que les technologies classiques de pompage/traitement.

La technique est basée sur une succession de différents filtres plantés réactifs et d'une zone humide en finition afin de bénéficier de la synergie entre des processus de biosorption, de réduction chimique et de biodégradation soutenue par un écosystème favorable à une biodiversité importante. La technologie appelée Wetland +® a été validée par un pilote terrain d'une durée de 6 années.

Le projet LIFEPOPWAT prévoit la mise en place de 2 prototypes, l'un sur le site de Hajek (lixiviats d'une décharge sauvage de



déchets de lindane et CBI) en République Tchèque et l'autre à l'échelle pilote sur le site de Jaworzno (nappe contaminée d'un site de production de pesticides) en Pologne.

Le projet vise également à déployer la technologie sur d'autres sites. SERPOL a la responsabilité d'animer ce déploiement et recherche des sites sur lesquels ces tests pourraient être menés.

Si vous êtes intéressés, une pré-étude gratuite et confidentielle est proposée sur la base de quelques renseignements (plan topographique, contaminants, concentrations, débit) afin de définir par le consortium la faisabilité technique, les filtres réactifs plantés nécessaires, l'emprise au sol pour un pilote et l'échelle 1 ainsi qu'une estimation des coûts d'investissement et de fonctionnement pour sa mise en oeuvre (CAPEX/OPEX).

SERPOL poursuit donc, avec ses partenaires, sa stratégie de R&D pour le traitement des eaux initiée par le projet ROSEAULIX sur le



traitement des lixivats de décharges d'ordures ménagères par filtres plantés de roseaux, mais également pour le traitement des zones sources de lindane et produits chlorés récalcitrants dans les nappes soit sous forme de phase libre dense (SILPHES et PAPIRUS) soit sous forme adsorbée (FAMOUS) grâce au développement de technologies à base de mousses et de gels ainsi qu'au soutien financier de l'ADEME.

Réseaux sociaux du projet LIFEPOPWAT :

Facebook : <https://www.facebook.com/LIFEPOPWAT/>

LinkedIn : <https://www.linkedin.com/company/lifepopwat/>

L'équipe du projet LIFEPOPWAT composée de l'Université de Liberec (République Tchèque, Coordinateur), l'université d'Aarhus (Danemark), DIAMO (République Tchèque), GIG (Pologne), La ville de Jaworzno (Pologne), Photon Water Technology (République Tchèque), SERPOL (France) ainsi que Pr. Paul Bardos (r3 Environmental Technology, Angleterre) et John Vijgen (IHPA, Pays-Bas)

Antoine JOUBERT (SERPOL)

// REGLEMENTAIRE

LA LOI ASAP

POUR LES SITES ET SOLS POLLUÉS

La loi n°2020-1525 du 7 décembre 2020 d'accélération et de simplification de l'action publique, dite "loi ASAP", a été publiée au Journal Officiel du 8 décembre 2020. .

La loi ASAP contient plusieurs dispositions modifiant le code de l'environnement afin de simplifier et d'accélérer les procédures environnementales lors de la cessation d'activité des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

ATTESTATIONS

Les alinéas 1 à 3 de l'article 57 de la loi ASAP prévoient l'intervention d'une entreprise **certifiée** en matière de sites et sols pollués ou disposant de compétences équivalentes pour établir 3 nouvelles attestations :

- attestation de la mise en œuvre des mesures de mise en sécurité du site,
- attestation garantissant l'adéquation des mesures proposées pour la réhabilitation envoyée au préfet avec le mémoire de réhabilitation.
- attestation garantissant la conformité des travaux de remise en état, qui s'apprécie au regard des mesures de gestion prévues, des travaux réalisés et des mesures de surveillance actualisées.

Les trois attestations sont requises lors de la cessation d'activité des ICPE soumises à enregistrement ou à autorisation. Pour les ICPE soumises à déclaration, seule l'attestation de mise en sécurité est nécessaire pour certaines installations.

TIERS DEMANDEUR

Le 4ème alinéa de l'article 57 offre la possibilité à un tiers demandeur de se substituer au tiers demandeur initial pour réaliser les travaux de réhabilitation du site sans qu'il soit nécessaire de renouveler l'ensemble de la procédure prévue à l'article L. 512-21 du code de l'environnement. Les services du Préfet doivent uniquement s'assurer que l'usage prévu du terrain concerné est identique et que ce nouveau tiers dispose de capacités techniques suffisantes et de garanties financières



couvrant la réalisation des travaux de réhabilitation pour assurer la compatibilité entre l'état des sols et l'usage défini.

PROJET DE DÉCRET

Le projet de décret d'application de ces alinéas 1 à 4 de l'article 57 de la loi ASAP modifiant des dispositions relatives aux sols pollués et à la cessation d'activité des installations classées pour la protection de l'environnement a été soumis au CSPRT le 10 mars 2021 et devrait être publié fin juin 2021.

MISES À JOUR

Ces évolutions réglementaires nécessitent que la norme NF X31-620 soit mise à jour, afin d'y intégrer trois nouvelles parties, correspondant à chacune des attestations requises.

Il sera également nécessaire de réviser l'arrêté ministériel du 19 décembre 2018 fixant les modalités de la certification et les modèles d'attestations.

Les délais pour mener tous ces travaux sont courts puisque ces procédures doivent être opérationnelles pour le 01/06/22, comme le prévoit le projet de décret.

DELAÏ DE REHABILITATION

L'article 58 de la Loi ASAP prévoit quant à lui la possibilité pour le préfet de fixer, après consultation, un délai contraignant pour les opérations de réhabilitation du site et l'atteinte des objectifs et obligations.



Planning de révision de la norme NFX31-620

// ACTUALITÉ

LES DERNIÈRES PUBLICATIONS

SITES ET SOLS POLLUÉS



FICHES ET GUIDES TECHNIQUES

BRGM - Fiches Sites et Sols Pollués - Techniques Innovantes 9/02/2021

Ces techniques innovantes, encore peu connues et peu souvent mises en œuvre par les acteurs SSP, sont utilisables pour le diagnostic des sites et/ou le suivi de travaux de dépollution.

- [Potentiel spontané](#)
- [Géostatistique](#)
- [CSIA](#)
- [Biodisponibilité environnementale](#)
- [Bioaccessibilité orale des éléments métalliques](#)
- [Bioaccessibilité orale simplifiée](#)
- [Dendrochimie](#)
- [Phytoscreening](#)
- [Résistivité électrique](#)
- [Polarisation provoquée](#)
- [PCR quantitative](#)
- [Séquençage](#)

[Film et rapport « Outils innovants pour la caractérisation haute résolution des sites pollués » -](#)

[ADEME, BRGM, INNOVASOL/POCIBLE, GINGER-BURGEAP, INERIS - 5/01/2021](#)

[Rapport sur les additifs du 1,1,1 Trichloroéthane - Etat de l'art et enjeux en contexte SSP -](#)

[BRGM - 15/01/2021](#)

[Projet valtex : Développement et expérimentations des modalités de gestion et de valorisation des terres excavées dans le contexte des sites et sols pollués](#)

[PROJET ESTRAPOL Essais de faisabilité de traitement des sols pollués](#)



[Guide INERIS sur les typologies d'usage - Mise à jour au 15/02/21](#)



RESEAU RECORD

[Rapport RECORD sur la caractérisation de l'amiante dans une matrice solide : état de l'art et bonnes pratiques - LERM/SETEC - décembre 2018 \(fin de période de confidentialité\)](#)

[Rapport RECORD sur la caractérisation du potentiel de mobilité des polluants organiques et inorganiques dans les sols et sédiments - BURGEAP, PROVADEMSE - novembre 2018 \(fin de période de confidentialité\)](#)

// ACTUALITÉ

CHARTRE CLIMATIQUE DE L'UPDS

Une charte pour la lutte contre le changement climatique a été adoptée par les adhérents de l'UPDS et fait maintenant partie du règlement intérieur du syndicat.

Elle comprend 10 pratiques vertueuses pour le climat, à mettre en oeuvre par les adhérents, aussi bien dans leurs entreprises qu'auprès de leurs clients.



CHARTRE UPDS

Par la nature même de leurs activités de reconversion de friches et de gestion de sols pollués en vue de les rendre compatibles avec un nouvel usage, les adhérents de l'UPDS limitent l'artificialisation des terres agricoles, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone des territoires.

En cohérence avec les objectifs français de neutralité carbone, les adhérents de l'UPDS s'engagent à adopter et à promouvoir auprès de leurs clients **10 pratiques vertueuses pour le climat**.

Limiter les émissions de leurs entreprises :

1. S'engager dans une démarche de réduction de leur empreinte carbone ;
2. Sensibiliser leur personnel aux questions de stratégie bas carbone
3. Mettre en place, dans leurs sociétés, une politique et des actions de réduction des émissions de GES, en privilégiant notamment les réunions en visio-conférence et les déplacements en train ;
4. Trier leurs déchets et limiter l'utilisation de papier ;
5. Privilégier les matériaux et objets fabriqués en France ou à proximité de leurs chantiers.



Process de dépollution in-situ à énergie solaire

Orienter leurs clients vers des chantiers de dépollution sobres en carbone :

6. Organiser les chantiers de façon à limiter les émissions de GES en privilégiant les traitements in situ et sur site ;
7. Utiliser de préférence des engins (pelles mécaniques, chargeurs, camions, groupes électrogènes, cribles...) fonctionnant grâce à des énergies faiblement émettrices de GES (gaz naturel, électricité...)
8. Promouvoir la valorisation de terres excavées afin de limiter l'utilisation de ressources naturelles ;
9. Privilégier les circuits courts et les sous-traitants implantés à proximité immédiate des chantiers ;
10. Utiliser de préférence des matériaux recyclés (remblaiement des fouilles, bâches, tuyaux...).

DISPONIBLE SUR LE SITE :

www.upds.org

// ACTUALITÉ

10 BONNES RAISONS D'ADHÉRER REJOINDRE L'UPDS

Pourquoi adhérer à l'UPDS ?

Un document pour présenter les principaux avantages et intérêts d'adhésion au syndicat pour des sociétés œuvrant dans le domaine des sites et sols pollués.

REJOINDRE L'UPDS

10 bonnes raisons d'adhérer



47
adhérents

2400
salariés

500M€
de chiffre
d'affaire

Contactez-nous :

upds@upds.org www.upds.org [in](https://www.linkedin.com/company/upds)

upds
Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

L'UPDS, est la chambre syndicale des professionnels de la dépollution des sites créée en 1992 et a pour première vocation de contribuer à la structuration de la profession et au développement de son marché.

- 
Anticiper les évolutions réglementaires, normatives et techniques
Participer à la rédaction des projets de textes réglementaires, des normes et des guides méthodologiques.
Donner son avis lors des commissions d'enquête du Sénat et de l'Assemblée Nationale.
- 
Partager son expérience et progresser en Hygiène et Sécurité
Echanger des retours d'expérience lors des réunions de la commission H&S de l'UPDS.
Accéder aux chiffres d'accidentologie des SSP.
Bénéficier d'Evalexpo®, pour évaluer l'exposition de son personnel sur les chantiers.
Former son personnel sur l'H&S en lien avec les SSP.
- 
Professionalisme des intervenants
Participer à la rédaction de la norme de service des prestataires SSP (NF X31-620) et des référentiels de certification qui s'y adossent.
- 
Rejoindre un réseau ouvert et convivial de professionnels dynamiques
Des adhérents de toute taille, de la TPE-PME aux grands groupes, qui ont le même pouvoir de décision dans le syndicat.
Une adhésion sur la base de critères simples, sans parrainage.
- 
Suivre les aspects techniques du secteur des sites et sols pollués
La commission technique, ouverte à tous, aborde les sujets techniques et réglementaires (nouvelles procédures, guides méthodologiques, polluants émergents, ...) qui ont un impact sur le métier.
- 
Gagner en visibilité
Organisation d'événements (colloque, webconférence).
Animation du village SSP à Pollutec...
- 
Echanger et construire
Représentation de la profession dans les groupes de travail nationaux sur les évolutions réglementaires, normatives et techniques.
Nombreux groupes de travail internes « miroirs » ouverts à tous les adhérents.
- 
S'informer sur les sites et sols pollués
Revue de presse mensuelle envoyée aux adhérents.
Publication régulière d'UPDS Mag, magazine collaboratif dédié aux sites et sols pollués.
- 
Un intranet ouvert aux adhérents
Un intranet pour suivre l'ensemble des réunions, groupes de travail et actions du syndicat
- 
Une équipe de permanents au service des adhérents
Deux salariés assurent une permanence pour développer et animer le syndicat et porter l'avis des adhérents au sein des nombreux groupes de travail.

Une adhésion simple et sans parrainage pour votre développement avec un réseau spécialisé dans la dépollution des sites et sols pollués

DISPONIBLE SUR LE SITE :

<https://upds.org/nous-rejoindre/>

WEB-CONFÉRENCE

UPDS / ACTU-ENVIRONNEMENT

EN COUVERTURE



Densifier la ville :
les friches industrielles au premier plan

LA WEB-CONF. D'ACTU / 3^e ÉDITION

PLAN DE RELANCE : DES OPPORTUNITÉS POUR LA RECONQUÊTE DES SITES POLLUÉS

— Pour cette troisième édition des Web-conférences Actu-Environnement, la rédaction s'est associée à l'Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (UPDS). Avec un rôle central dans la lutte contre l'artificialisation des sols, la reconquête des friches urbaines fait l'objet d'un volet ambitieux du plan de relance. Faites le tour de ces enjeux lors de ce nouvel événement en direct puis en "replay".

/ RÉDACTION D'ACTU-ENVIRONNEMENT

“

La reconversion des friches est au cœur de la lutte contre l'artificialisation des sols.

Comment le Plan de relance peut-il contribuer à cette reconquête ? Réponse le 24 juin.”



DAVID ASCHER
DIRECTEUR DES PUBLICATIONS

**DIRECT
STREAMING**

Date
24
JUN

Début
9
HEURES

OUVERT À TOUS

www.aenv.fr/CONFFRICHES

EN PARTENARIAT AVEC



PROGRAMME

Plan de relance : des opportunités pour la reconquête des sites pollués

- 9 h 00 - ENTRETIEN**
avec Franck Bouché, président de l'UPDS
- 9 h 15 - TABLE-RONDE 1**
Comment les collectivités peuvent-elles bénéficier du plan de relance pour reconvertir leur friche ?
Animée par Florence Roussel
- 9 h 50 - TABLE-RONDE 2**
Que change la loi Asap pour les sites et sols pollués ?
Animée par Laurent Radisson
- 10 h 25 - TABLE-RONDE 3**
Quels emplois et compétences pour la reconquête des friches ?
Animée par David Ascher

EN SAVOIR PLUS

upds **MAG**
LE MAGAZINE DES PROFESSIONNELS
DE LA DÉPOLLUTION DES SITES

upds

Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

183 Av. Georges Clémenceau
92000 Nanterre
T : 01 47 24 78 54
www.upds.org