

Nouvelles technologies pour le traitement *in-situ* de polluants émergents

Réunion de la Commission « Sites et Sols Pollués » de l'AFITE du 11 octobre 2019

Avec Aurélien Triger et Kris Maerten, *Regenesis*

→ La Commission Sites et Sols Pollués de l'AFITE, s'est réunie sous la présidence de Renaud AVOCAT le vendredi 11 octobre 2019 à Paris sur le thème du « Développement de nouvelles technologies pour le traitement *in-situ* de polluants émergents : de l'échelle laboratoire à la commercialisation en passant par les phases pilotes ».



> AURÉLIEN TRIGER



> KRIS MAERTEN

A

Aurélien TRIGER, représentant en France de la société REGENESIS et Kris MAERTEN, Responsable Technique Europe de REGENESIS ont présenté la démarche utilisée pour mettre au point une technique capable de traiter les PFAS (substances poly- et perfluoroalkylées), familles de polluants émergents largement répandus dans l'environnement, depuis les résultats d'essais laboratoires, les pilotes et jusqu'aux premières applications commerciales.

Les substances poly- et perfluoroalkylées (PFAS)

Les PFAS sont une famille de composés constitués d'une chaîne carbonée de longueur variable, sur laquelle l'ensemble ou une importante partie des atomes d'hydrogène a été remplacée par des atomes de fluor.

Les PFAS sont des composés hydrophobes et lipophobes qui

possèdent une haute stabilité chimique et thermique. Ces propriétés font qu'ils sont (ou ont été) couramment utilisés à des fins domestiques ou industrielles, par exemple en tant que :

- Enduit antitache et imperméable pour les textiles et tapis.
- Enduit résistant à l'huile pour les papiers et cartons aptes au contact alimentaire (emballage papier pour pâtisseries, emballage de restauration rapide, cornet à popcorn, etc)
- Mousses anti-incendie, agents tensioactifs, revêtements pour sol ou encore formulation de certains insecticides.

Cependant les PFAS sont devenus une problématique majeure ces dernières années, non seulement parce qu'ils diffusent largement dans l'environnement mais également parce qu'ils sont persistants

et ne seront pas dégradés une fois exposés à l'air, à l'eau ou au soleil.

Ils peuvent parcourir de longues distances dans l'environnement et s'accumuler dans les organismes vivants.

Certains de ces composés sont des perturbateurs endocriniens ou sont soupçonnés d'être cancérigènes. Les molécules les plus connues sont l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) utilisé notamment pour l'amélioration des propriétés extinctrices des mousses anti-incendie, qui a été inclus dans la liste de polluants organiques persistants (POP) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), utilisé par exemple pour la synthèse du polytétrafluoroéthylène (PTFE), commercialisé sous la marque Teflon, classé comme substances préoccupantes (SVHC – substances of very high concern) dans le cadre du règlement REACH.



Un terrain contaminé par des substances perfluoroalkylées peut donc entraîner des conséquences à grande échelle dans le long terme. Elles risquent d'être lessivées à travers le sol et de contaminer l'eau potable, voire la chaîne alimentaire si elles sont ingérées par des organismes aquatiques.

Traitement des sols contaminés par les PFAS

Les solutions de traitements existantes sont de type « pump & treat » : un pompage permet d'extraire l'eau polluée qui est ensuite traitée « ex-situ » par charbon actif, résines échangeuses d'ions ou filtration membranaire. Ces techniques sont souvent coûteuses, et la régénération ou l'élimination du charbon épuisé est problématique.

En raison de la grande stabilité de la liaison carbone-fluor les PFAS résistent aux technologies de traitements classiques : ils sont résistants à l'oxydation chimique, à la photolyse, très peu biodégradables et les seuils de dépollution à atteindre sont très bas (Recommandation sanitaire de l'EPA < 70 ng/L).

Essais en laboratoire

On sait qu'en laboratoire, l'injection in-situ de charbon actif permet l'adsorption du PFAS de la phase liquide et stoppe la migration du panache. Cela permet l'immobilisation et le confinement des substances dangereuses. On réduit ainsi le risque environnemental, en évitant aux milieux sensibles d'être exposés aux PFAS.

Cependant, mettre en place un solide dans le sous-sol est complexe, c'est pourquoi REGENESIS a développé PlumeStop®, une solution de charbon actif colloïdal, dont la taille des particules (1 à 2 µm) fait qu'elle se comporte comme un liquide avec une viscosité proche de l'eau, qu'elle offre une très grande surface spécifique (1000 m²/g) et une cinétique d'adsorption très élevée.

Les essais en laboratoire ont permis de démontrer l'adsorption des



©DR

PlumeStop®
Liquid Activated Carbon™

PFAS sur le produit et de mesurer la pénétration du PlumeStop® dans les zones de faibles perméabilités afin de valider le mode de mise en œuvre du filtre sur le terrain par injection directe sous pression (direct push).

Essais pilotes

Des essais pilotes ont été réalisés sur un site traité pour une ancienne fuite d'hydrocarbures pétroliers. Le site ayant par ailleurs été utilisé comme centre d'entraînement de pompiers sur une ancienne usine de revêtements de tissus, la présence de PFAS était prévisible. Les prélèvements d'échantillon d'eau souterraine ayant confirmé la présence de PFOA (jusqu'à 3 260 ng/L) et PFOS (jusqu'à 1 450 ng/L) il a été proposé de traiter le site avec PlumeStop®. Les PFAS et les produits résiduels d'hydrocarbures seront adsorbés sur le charbon actif. Les hydrocarbures seront ensuite biodégradés au fil du temps, tandis

que les PFAS resteront piégés sur le filtre.

Cet essai a permis de valider les outils et la méthodologie d'injection et de définir les intervalles entre les points d'injections afin d'obtenir une distribution homogène du produit.

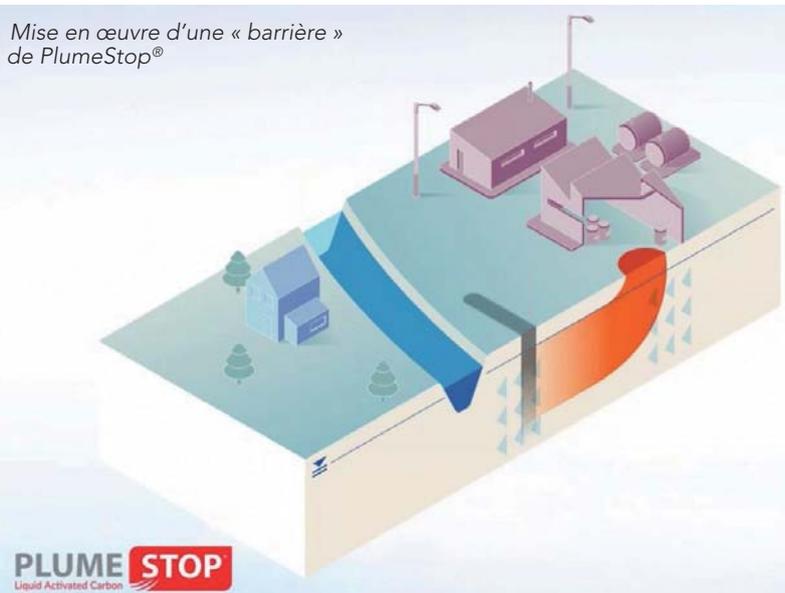
Un programme de suivi mis en place sur le site a relevé, 18 mois après le traitement, des quantités de BTEX et hydrocarbures pétroliers largement en dessous des recommandations, et 34 mois après le traitement des quantités inférieures aux seuils de détection pour les PFOS et PFOA et les autres PFAS (<20 à 30 ng/L).

Durabilité dans le temps

Les essais ont permis de démontrer l'efficacité de la solution à court terme (34 mois) pour l'élimination des PFAS, mais ces substances sont adsorbées sur le charbon et non détruites. La question se pose de devenir à long terme du filtre de charbon actif et du temps de percée des polluants. Des chercheurs ont établi des modèles qui prédisent une efficacité de ce type de filtre pour une durée de 30 ans au minimum, mais un suivi à long terme est nécessaire pour connaître l'évolution des composés adsorbés sur le charbon actif et la biodégradation des PFAS à long terme.

Commercialisation

La mise en œuvre de PlumeStop® à plus grande échelle, sur un ancien site de recyclage de solvants en Nouvelle-Angleterre,



Mise en œuvre d'une « barrière » de PlumeStop®



NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR LE TRAITEMENT IN-SITU DE POLLUANTS ÉMERGENTS

en association avec des nanoparticules de fer zéro-valent (ZVI) pour le traitement de pollutions par des solvants chlorés et sur un ancien site de stockage de carburant de l'armée de l'air américaine (Grayling Army Airfield) a permis de démontrer l'efficacité de la solution proposée par REGENESIS en situation réelle.

PERSPECTIVES- PlumeStop

La technologie PlumeStop® est applicable à d'autres composés émergents, tels que :

- Muscs synthétiques,
- Produits d'hygiène,
- Produits pharmaceutiques.

Pour le traitement de zones concentrées en hydrocarbures, REGENESIS a développé PetroFix qui cumule l'adsorption des hydrocarbures sur des particules de charbon actif colloïdales de 1-2 µm et la biodégradation anaérobie par l'apport de nitrate et sulfate qui permettent une libération rapide et contrôlée d'accepteurs d'électrons. Cette technique

permet le traitement de zones concentrées : cuve de carburants, fioul etc. mais pas les phases pures (LNAPL). La distribution du produit dans le sous-sol permet d'assurer un bon contact avec le polluant et la faible pression de l'injection évite l'apparition de fracturations. ↙

(1) **Evaluating the longevity of a PFAS in situ colloidal activated carbon remedy** - Grant R. Carey Rick McGregor Anh Le - Tuan Pham Brent Sleep Seyfollah Gilak Hakimabadi - 28 February 2019 - <https://doi.org/10.1002/rem.21593>

Pour en savoir plus :
<https://regensis.com/fr/home/>
<https://regensis.com/eur/remediation-products/petrofix/>

