



Installation, mise en service et exploitation d'une  
barrière réactive perméable injectable in situ  
pour prévenir l'advection de substances per- et  
polyfluoroalkyles sur un aéroport européen

Ing. Kris Maerten  
Directeur technique, Europe  
REGENESIS

Intersol 2022

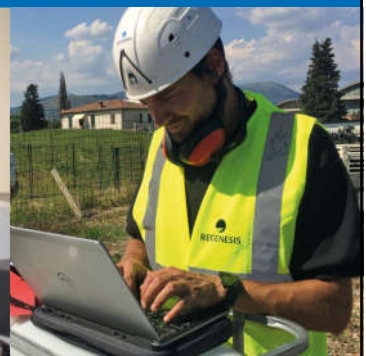


1

Introduction



## Présentation de l'entreprise



- **28 ANS**
- **> 26 000 PROJETS DANS LE MONDE**
- **UTILISATION CHAQUE JOUR**

2

## Pourquoi pa

### Pollution: le groupe 3M contraint de suspendre la production d'une usine en Belgique

Par Le Figaro avec AFP  
Publié le 29/10/2021 à 19:34

La multinationale américaine 3M a été contrainte vendredi d'arrêter temporairement la production de son usine chimique de Zwijndrecht, près d'Anvers, dans le nord de la Belgique, à cause de l'exposition des riverains aux émissions polluantes, ont annoncé les autorités belges.

«Les valeurs de PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées) mesurées dans le sang des quelque 800 habitants de Zwijndrecht nous ont appris que pour 60% de la population, la coupe est pleine», a expliqué Karl Vranken, le représentant du gouvernement flamand chargé du dossier. «Les habitants ont des taux élevés de PFAS dans le sang et se demandent ce qu'ils vont faire. Pour leur donner des conseils, il est important de s'attaquer à la source de la contamination», a-t-il souligné. Ces composés perfluorés, utilisés notamment dans les emballages et revêtements imperméables, ont déjà valu à 3M des actions en justice aux Etats-Unis à cause de rejets ayant contaminé l'eau potable. Ils peuvent se retrouver dans les sols, l'air, les poussières.

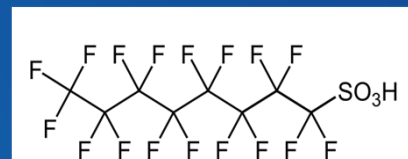
«Nous avons une vision très claire de la contamination des sols, des eaux souterraines et des aliments au cours des dernières semaines», a expliqué Karl Vranken. «La composante manquante est la propagation dans l'air des PFAS par 3M. Par conséquent, il est important de comprendre tous les processus de 3M qui



3

## Les PFAS : qu'est-ce que c'est ?

- PFAS : substances poly- et perfluoroalkylées
- Famille de composés avec des milliers de composés dont les plus connus : PFOS, PFOA, PTFE (teflon)
- Propriétés particulières
  - Lipophobes : revêtements antiadhésifs, emballages alimentaires
  - Hydrophobes : imperméabilisants
  - Stables : Additifs dans les mousses anti-incendie



➔ Plus de 35 000 sites industriels en Europe susceptibles de relarguer des PFAS dans l'eau, l'air ou les sols.



4

# Les PFAS et PlumeStop



5

PlumeStop et les PFAS

## PlumeStop

Qu'est-ce que c'est ?

- Charbon actif liquide
- Taille des particules : 1 – 2  $\mu\text{m}$
- Suspension colloïdale dans une solution de polymères
- Offre une ample distribution à basse pression
- Présente des sites d'adsorption extrêmement rapide
- Transforme le sous-sol en filtre épurateur

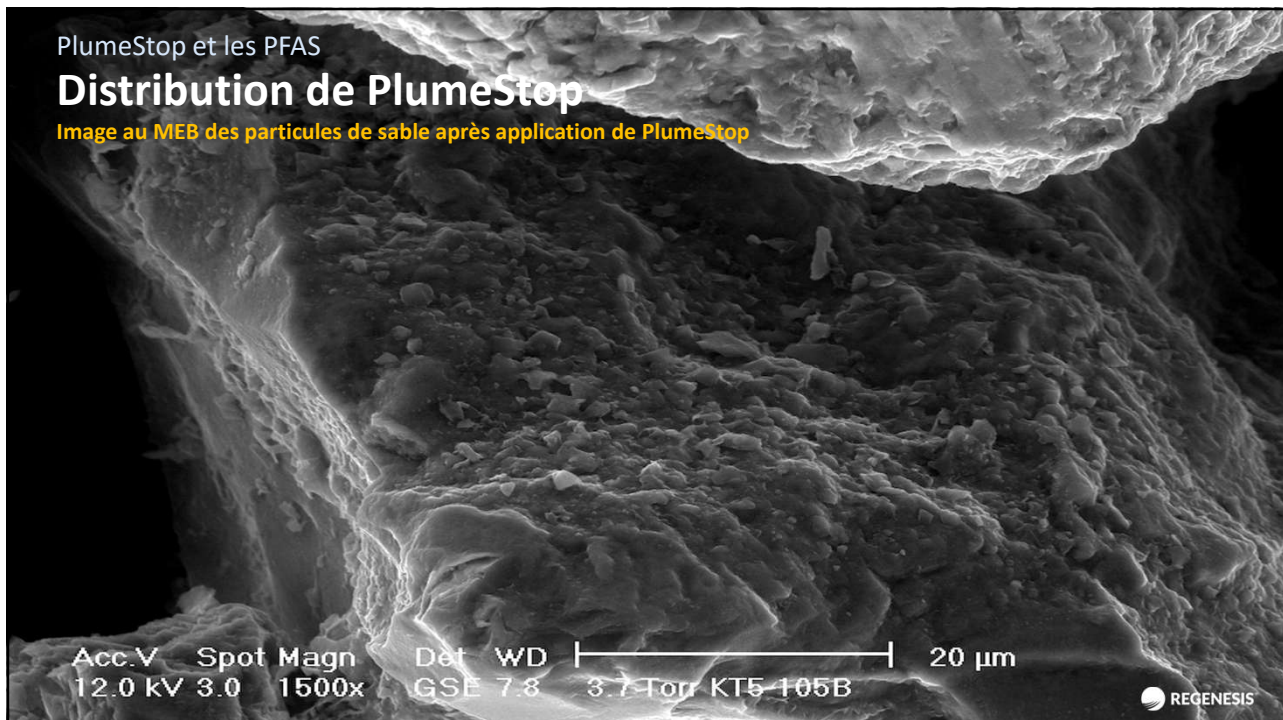


**PLUME STOP**  
Liquid Activated Carbon

6



7



8



Traiter la pollution par les PFAS dans les nappes

## PlumeStop : supprime le risque lié aux PFAS

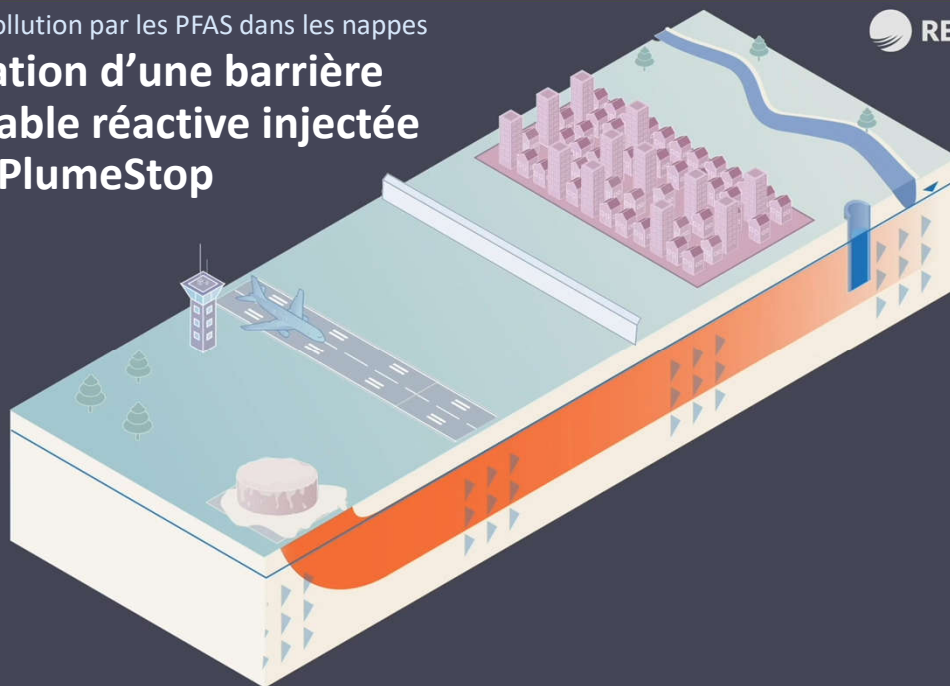
- ~~Risque~~ = Danger x ~~Exposition~~
- PlumeStop fixe les PFAS *in situ*
- Élimine une possible exposition (en aval)
- Supprime le risque



9

Traiter la pollution par les PFAS dans les nappes

## Installation d'une barrière perméable réactive injectée (BPRi) PlumeStop



10

PlumeStop et les PFAS



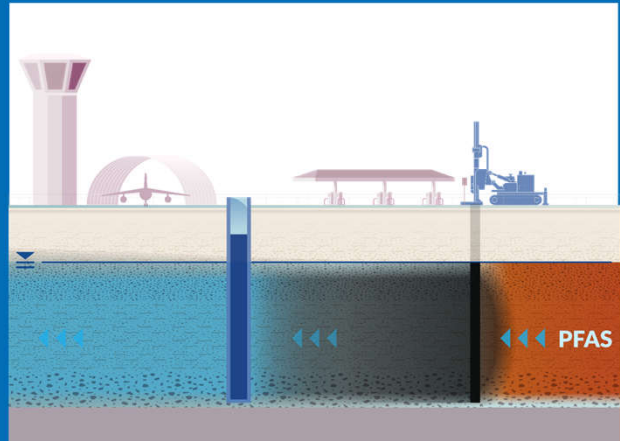
## PlumeStop : charbon actif colloïdal (CAC)

### Mode d'action sur les PFAS :

- Équilibre dynamique (adsorption)

### Effet : prolonge le retardement des panaches de PFAS

- Facteurs de retardement naturel pour les PFAS : 3 – 20
- Facteur de retardement atteignable avec PlumeStop : 10 000
- Séquestration pendant des décennies



11

PlumeStop et les PFAS



## Avantages de l'utilisation de PlumeStop sur les panaches de PFAS

### Epruvé

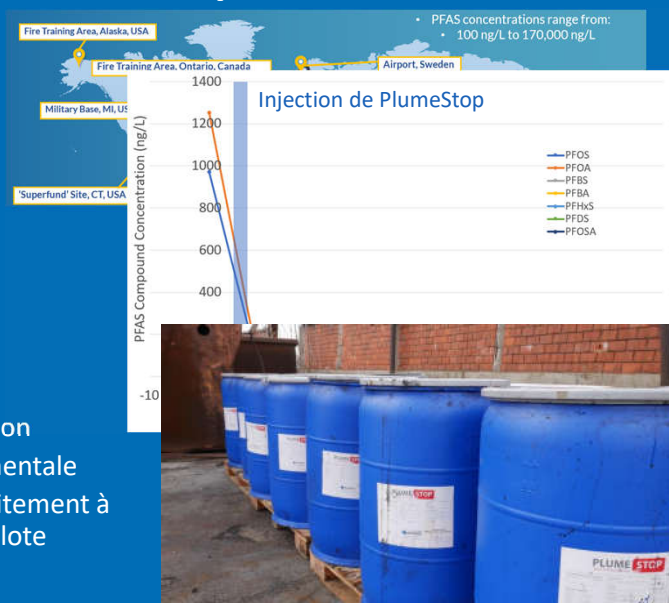
- 19 sites traités à ce jour
- Données de suivi jusqu'à 5 ans
- Publications scientifiques de tiers

### Efficace

- Traitement rapide
- Protection à long terme

### Disponible

- PlumeStop est en stock, prêt à l'utilisation
- Solution commerciale, non pas expérimentale
- Quelques mois, de la conception au traitement à grande échelle, en passant par l'essai pilote



12

PlumeStop et les PFAS



## Avantages de l'utilisation de PlumeStop sur les panaches de PFAS

### Sûr

- Produit non dangereux
  - utilisé pour la filtration d'eau potable
- Pas de PFAS ramenés en surface
- Pas de produits de filiation dangereux
- Temps passé sur le site réduit au minimum



### Durable

- À base de charbon actif organique, renouvelable
- Passif :
  - Aucun équipement fonctionnant indéfiniment
- Moins cher que les alternatives par pompage et traitement
- Aucun déchet généré
- Perturbations minimales du site et des infrastructures locales

Impact on UN sustainable development goals: Pump-and-treat



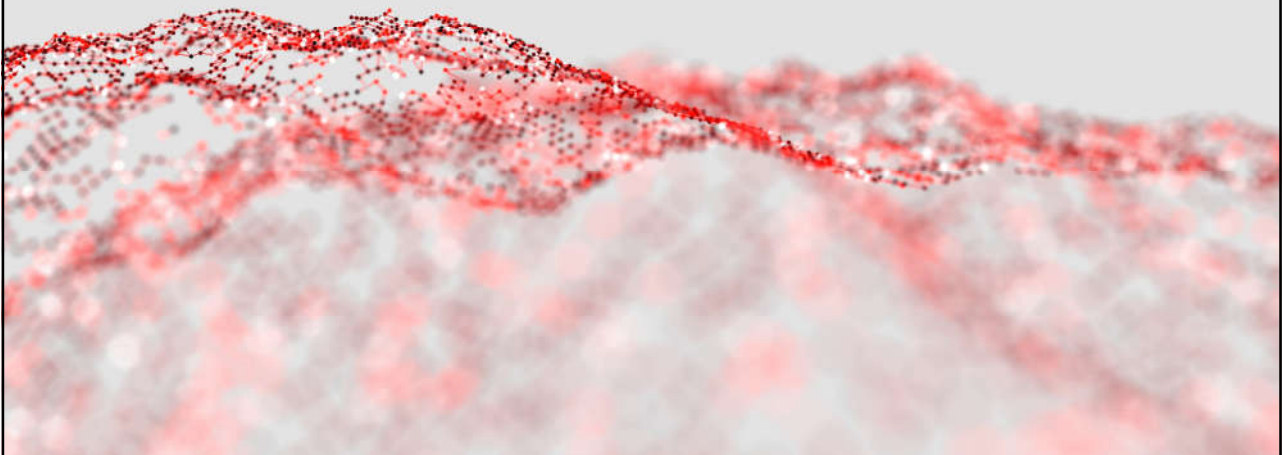
Impact on UN sustainable development goals: PlumeStop



Étude comparant PlumeStop et pompage et traitement sur une pollution par des HCC : Ramboll et Agence danoise de Protection de l'environnement 2019

13

## Notre méthode avant application



14

PlumeStop et les PFAS



## Phases de travaux pour l'installation d'une BPRi PlumeStop pour traiter les PFAS

L'installation d'une barrière perméable réactive injectée (BPRi) de PlumeStop comprend les phases suivantes :

### 1. Phase de vérification du dimensionnement

**Objectif :** établir les conditions de référence pour les travaux à grande échelle afin de s'assurer qu'une BPRi PlumeStop est adaptée au site

### 2. Phase de mise en œuvre

**Objectif :** mettre en place la barrière PlumeStop

### 3. Phase de mise en service/optimisation

**Objectif :** optimiser les performances de la barrière d'après les données recueillies durant les premiers mois

### 4. Phase opérationnelle – barrière en place

**Objectif :** atténuation à long terme de la migration hors site des PFOS et des PFOA



15

PlumeStop et les PFAS



## Vérification du dimensionnement – solution adaptée au site ?

**Installation de puits de surveillance supplémentaires et description détaillée de la lithologie** - Recueillir les données initiales et les données post-injection

**Essais de perméabilité** - Confirmer la vitesse d'écoulement de l'aquifère

**Échantillonnage supplémentaire de la nappe** - Connaître les autres polluants organiques potentiels/paramètres géochimiques

**Installation de iFlux** - Confirmer les flux estimés

**Analyse des précurseurs oxydables totaux** - Connaître la charge de polluants

**Essais d'injection à l'eau claire** - Établir la pression d'injection optimale pour assurer une distribution homogène

**Injections de PlumeStop** - Confirmer le rayon d'influence, la relation dose-effet et la modélisation



16



## Études de cas en Europe



17

### Étude de cas 1 **Aéroport international au Royaume-Uni** 6 mois d'essai pilote sur les PFAS



18

## Études de cas

**Aéroport international au RU**

## Présentation du site

**Contexte**

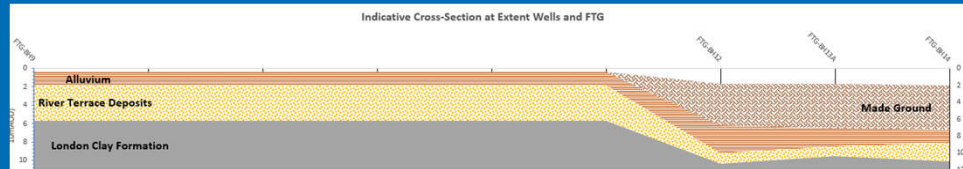
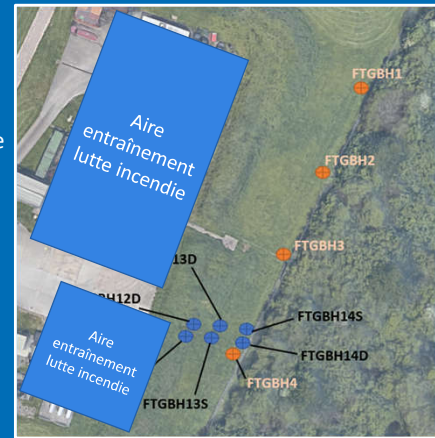
- Aéroport international au RU – aire d'entraînement à la lutte incendie
- Pollution par des PFOS identifiée en 2019
- Programme de dépollution volontaire – protection d'un site d'intérêt scientifique particulier (SSSI) hors site

**Géologie**

- Limon, puis graviers sur argile de Londres
- Nappe à environ – 2 m

**Pollution**

- PFAS totaux > 200 µg/L
- Hydrocarbures : 20 mg/L

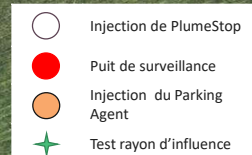
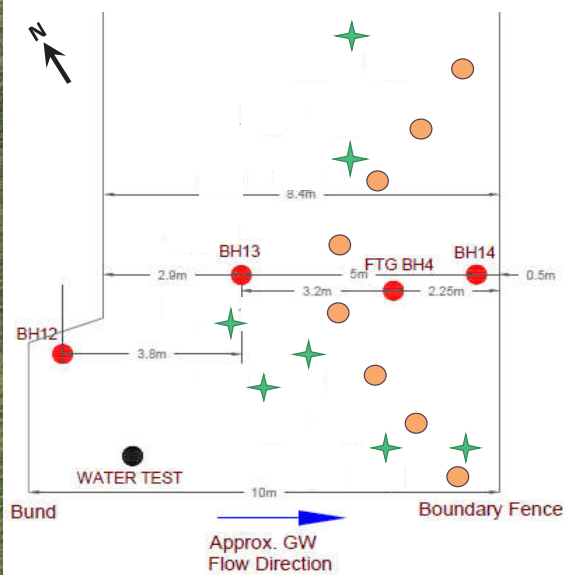


19

## Études de cas

**Aéroport international (RU)**

## Présentation du site



20

## Études de cas – Aéroport international au RU



## Vérification de la conception – Conclusion

- Le DVT a permis d'identifier une hausse significative des flux de PFOS et PFOA
- Les flux massiques de PFOA et de PFOS ont été de nouveau confirmés par iFlux
- Ces résultats post-DVT ont été utilisés pour mettre à jour les données d'entrée dans le modèle utilisé pour calculer la dose de PlumeStop
- Une augmentation modérée de la dose de PlumeStop a été nécessaire

Table 1. Significant Design Input Parameter Deviations

Geological Unit	Parameter	Assumptions (Jan 2021, Pre- DVT)	Confirmation (April 2021, DVT- Results)	Deviation
Made Ground	PFOS Flux	41 µg/m <sup>2</sup> /day	77 µg/m <sup>2</sup> /day	+ 88%
	PFOA Flux	189 µg/m <sup>2</sup> /day	651 µg/m <sup>2</sup> /day	+ 244%
	PFOA Flux (iFlux)	189 µg/m <sup>2</sup> /day	1,000 µg/m <sup>2</sup> /day	+ 429%
	Misc. PFAS Compounds	5,000 ng/L	212,260 ng/L	+ 4,145%
	Hydraulic Conductivity	4.1 m/day	11.5 m/day	+ 180%
	Seepage Velocity	75 m/yr	210 m/yr	+ 180%
	Seepage Velocity (iFlux)	75 m/yr	127 m/yr	+ 70%
	Dissolved Organic Carbon	1,000 µg/L	9,000 µg/L	+ 325%
River Terrace Deposits	PFOS Flux	41 µg/m <sup>2</sup> /day	7.5 µg/m <sup>2</sup> /day	- 82%
	PFOA Flux	189 µg/m <sup>2</sup> /day	110.3 µg/m <sup>2</sup> /day	- 42%
	PFOA Flux (iFlux)	189 µg/m <sup>2</sup> /day	1,700 µg/m <sup>2</sup> /day	+ 799%
	Effective Porosity	20%	25%	+ 25%
	Hydraulic Conductivity	4.1 m/day	7.5 m/day	+ 83%
	Seepage Velocity	75 m/yr	110 m/yr	+ 46%
	Seepage Velocity (iFlux)	75 m/yr	394 m/yr	+ 426%

21

## Études de cas – Aéroport international au RU



## Installation PlumeStop – Résultats

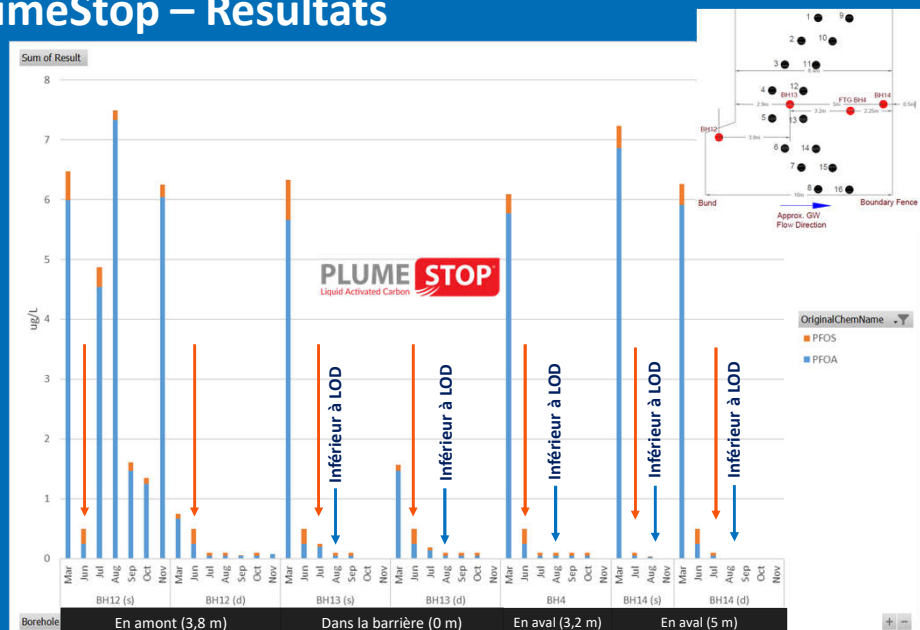
Réduction > 99 % des PFOS et des PFOA en aval de la barrière

Limites de détection (LOD) des PFOS :

Mars – Juin : 0,05 µg/L

Août : 0,00065 µg/L

PFOS et PFOA en deçà des limites de détection pour tous les puits en aval en août



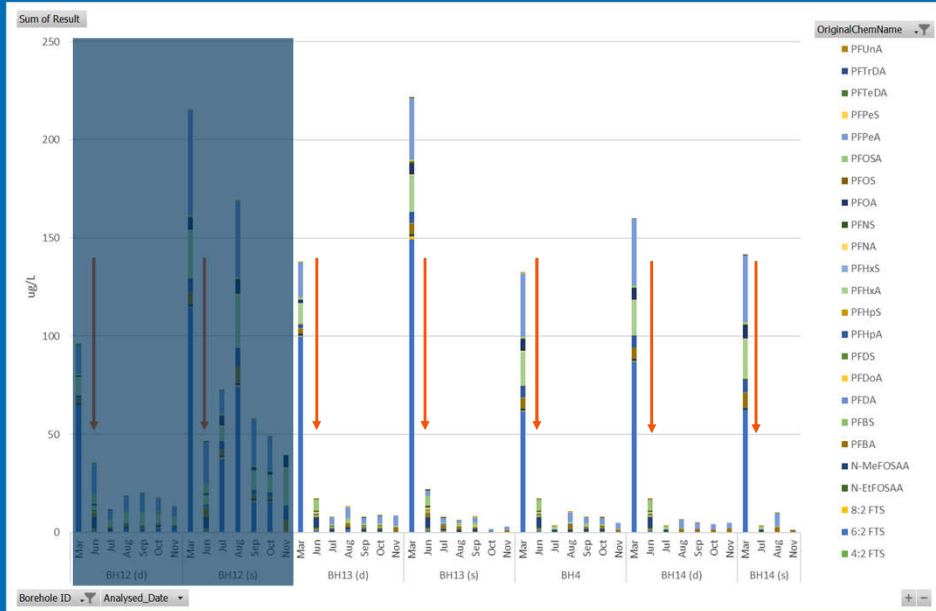
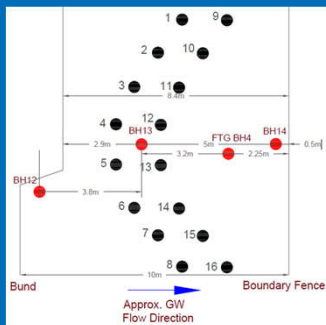
22

## Études de cas – Aéroport international au RU

## Installation PlumeStop – Résultats tous composés PFAS



Réduction > 93 % de la somme des 11 composés PFAS dans les puits en aval



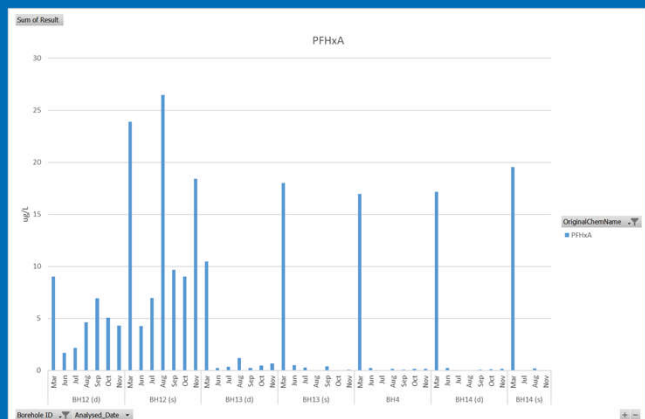
23

## Études de cas – Aéroport international au RU

## Pourquoi s'intéresser aux autres composés PFAS ?



Compound (Full Names)	Compound Acronym	Carbon chain length	Kf	1/n	KOC
Perfluoro-1-decanesulfonate	PFDS	Deca- C10	977	0.79	3,981
perfluorooctane sulfonate, perfluorooctane sulfonic acid	PFOS	Octa - C8	977	0.79	1000
perfluorononanoate, perfluorononanoic acid	PFNA	Nona - C9	73	0.67	1000
perfluorodecanoate, perfluorodecanoic acid	PFDA	Deca- C10	289	0.72	631
perfluoroheptane sulfonate, perfluoroheptane sulfonic acid	PFHpS	Hepta - C7	103	0.66	562
perfluorononanoate, perfluorononanoic acid	PFNS	Nona - C9	977	0.79	500
Perfluoro-octane sulfonate 6:2	6:2PTS	Octa - C8	289	0.72	270
perfluorooctanoate, perfluorooctanoic acid	PFOA	Octa - C8	73	0.67	200
perfluorohexane sulfonate, perfluorohexane sulfonic acid	PFHxS	Hexa - C6	103	0.66	180
Perfluoro-n-butanoic acid	PFBA	Buta - C4	2	0.99	79
perfluoroheptanoate, perfluoroheptanoic acid	PFHpA	Hepta - C7	11.6	0.68	40
perfluoropentane sulfonate, perfluoropentane sulfonic acid	PFPeS	Penta - C5	11.6	0.68	38
perfluorobutane sulfonate, perfluorobutane sulfonic acid	PFBS	Buta - C4	11.6	0.68	32
perfluoropentanoate, perfluoropentanoic acid /	PFPeA	Penta - C5	5.3	0.99	25
perfluorohexanoate, perfluorohexanoic acid	PFHxA	Hexa - C6	5.3	0.99	20



24

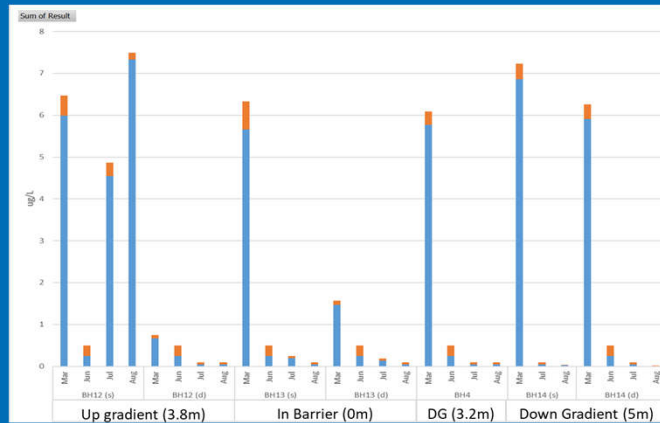


## Études de cas – Aéroport international au RU

### Conclusions de l'essai pilote



- ✓ Réduction > 99 % des PFOS et des PFOA en aval de la barrière
- ✓ Les ajustements de la dose de PlumeStop réalisés post-DVT réduisent les concentration de PFOS et de PFOA en deçà des limites de détection
- ✓ La barrière PlumeStop fonctionne
- ✓ PlumeStop est une solution de dépollution adaptée au site



25

## PlumeShield

PlumeShield offre une approche simplifiée pour mieux gérer l'exposition à long terme




26



27

**Merci!**



**Ing. Kris Maerten**  
**Directeur technique**  
kmaerten@Regenesiis.com  
+32 (0)498572690

**REGENESIS**

28