Traitement des PFAS dans les eaux par moussage séparatif SAFF®

Boris DEVIC-BASSAGET / DT Sarpi Remediation Europe (FR)
Filip JENNES / Ingénieur développement projet opérationnel (BE)

upds
Union des Professionnels de la Dépollution des Sites.

pollutec
Là où s'invente le monde durable
7-10 OCT. 2025 | LYON EUREXPO FRANCE

VEOLIA

Avertissement

Les informations contenues dans le présent document sont fondées sur la compréhension et le savoir-faire du groupe Veolia dans les domaines scientifiques et techniques abordés ci-dessus au moment de sa publication. Les déclarations qui sont susceptibles d'être interprétées comme ayant une valeur prédictive des résultats ou de la performance futurs ne doivent pas être considérées comme les garantissant, mais davantage comme évaluant raisonnablement l'évolution possible des technologies décrites ci-dessus.

Ce document étant fondé sur l'état des connaissances scientifiques, techniques et réglementaires du groupe Veolia au moment de sa publication, l'exhaustivité et l'exactitude des informations qu'il contient ne peuvent être garanties.

Les descriptions contenues dans le présent document s'appliquent uniquement aux exemples et/ou aux situations générales spécifiquement citées, et en aucune manière ne doivent être considérées comme s'appliquant à d'autres cas sans un examen et une approbation préalables.

Sommaire

1 Définition & Approche réglementaire en Europe

2 Activités concernées et niveaux d'impact

3 Quels traitements des sols et des eaux ?

4 Pilotes SAFF® vs CFF

5 Essais pleine échelle

6 Conclusion & Perspectives

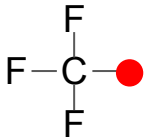
PFAS
Définition



LA DÉFINITION À UTILISER

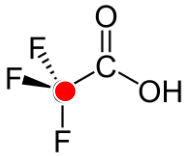
UNE SEULE :
CELLE DE L'OCDE

CONTIENT **AU MOINS**

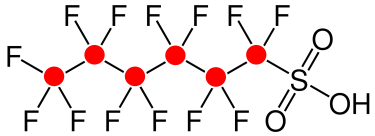


MAIS ATTENTION CET ATOME DE CARBONE **NE DOIT PAS ÊTRE LIÉ À…**

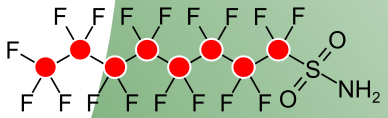
H **Cl** **Br** **I**



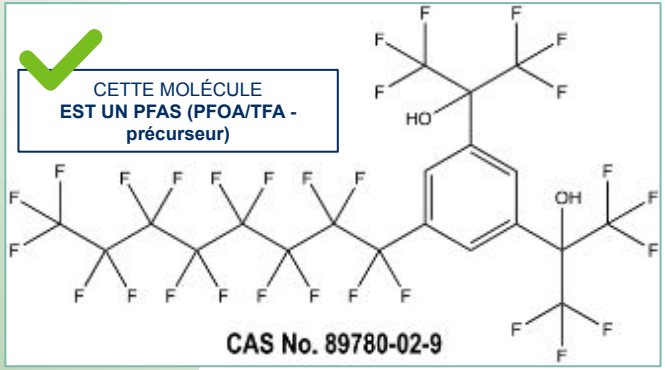
TFA
1 carbone

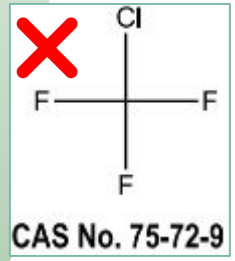


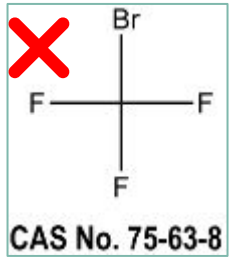
PFHxS
6 carbones

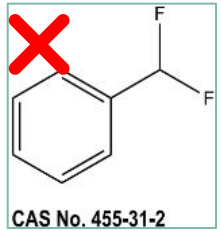


PFOSA
8 carbones









CES MOLÉCULES
NE SONT PAS DES PFAS

PFAS “CHAÎNES ULTRA-COURTES”, “COURTES”, “LONGUES”..
DE QUOI PARLE-T-ON ?

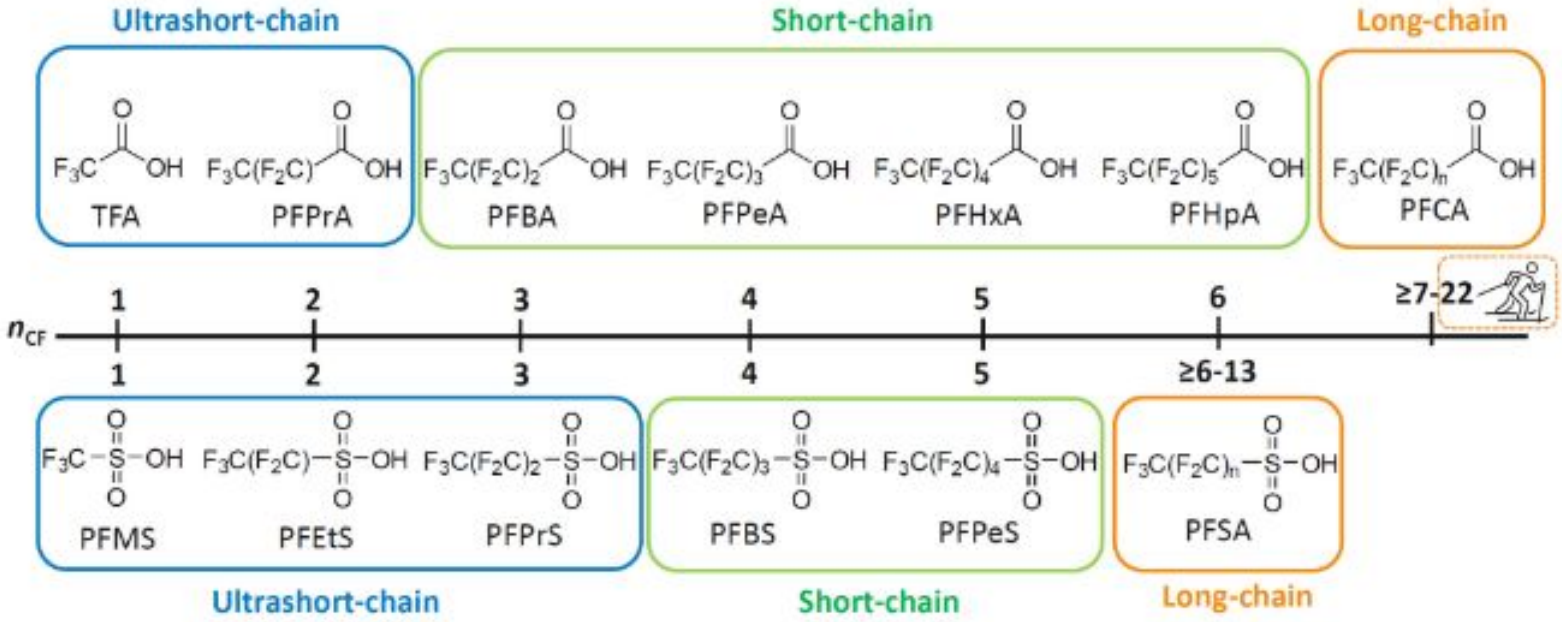


Figure 1: PFSA and PFCA categorization based on carbon chain length – ultrashort-chain, short-chain and long-chain. (Image provided courtesy of Phenomenex and SCIEX).

La gestion des sites et sols en Europe

Méthodologies, règlements et lois



Benchmark Europe gestion SSP des PFAS

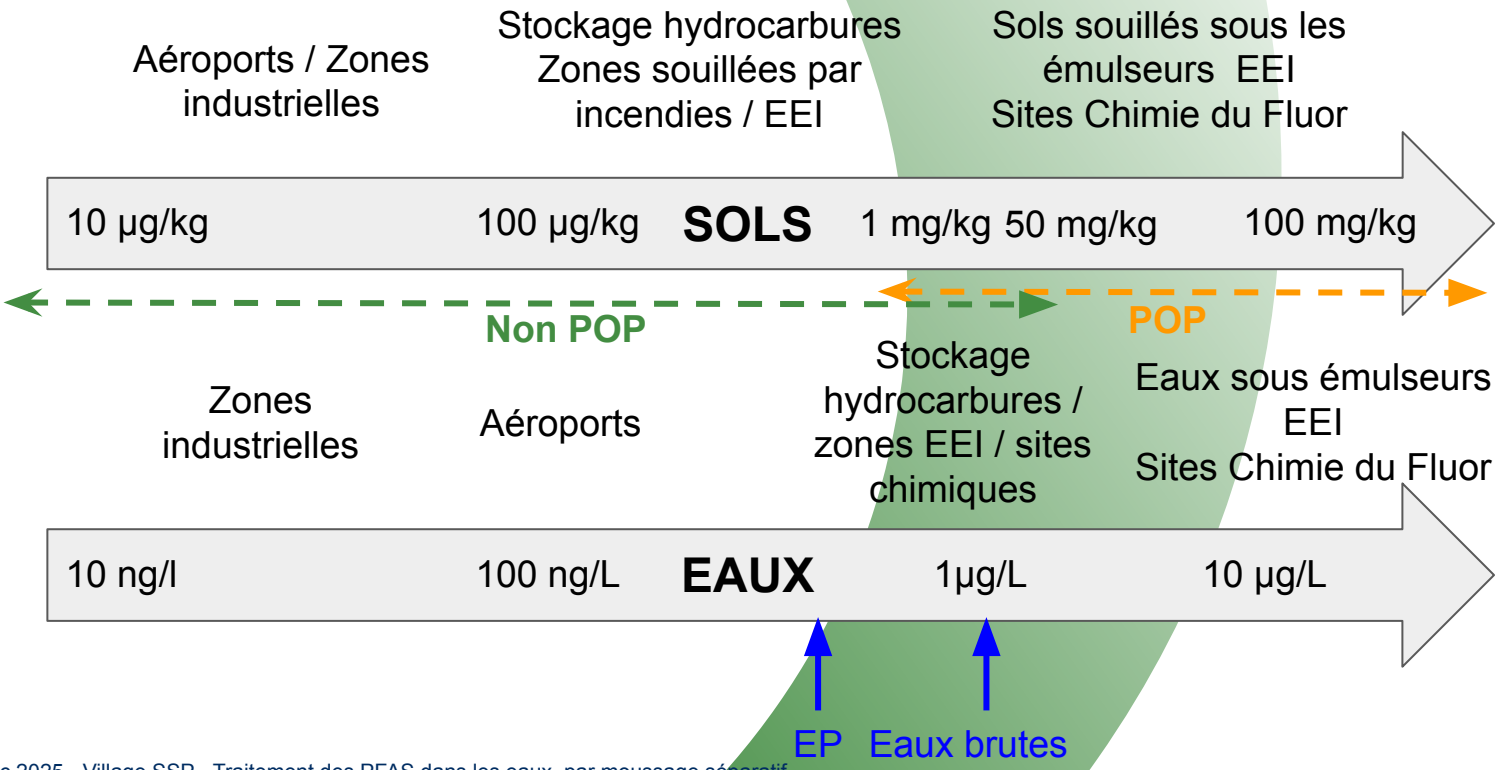
	SOLS (µg/kg-MS)		EAUX (ng/l)	
	Risques Sanitaires	Seuils définis	Risques sanitaires	Seuils définis
Allemagne		Σ ([PFAS1]/Cmax1 + ... + [PFASn]/Cmaxn) ≤ 1		Potabilité EU = Σ PFAS < 500 / Σ 20 PFAS < 100
Belgique		PFOS < 3 (Fld) / 2,1 (Wal) PFOA < 2 (Fld) / 0,6 (Wal) Σ 55 PFAS < 8 (Fld)		Potabilité EU
Danemark		Σ 4 PFAS <10 (PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS) Σ 22 PFAS <400		Σ 4 PFAS <2 (PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS) Σ 22 PFAS < 100
Espagne	?	Pas de référence	?	Potabilité EU
France	quelques VTR (FTSA / PFHxA/ PFBS / PFBA)	Pas de référence	X	Potabilité EU = Σ PFAS < 500 / Σ 20 PFAS < 100 Eaux brutes Σ PFAS < 1000
Italie		En attente de seuils		Σ PFAS < 100 (PFOA+PFOS+PFNA+PFHxS)<20
Pays-Bas		PFOS/PFOA/other individual PFAS : Agro 1,4 / 1,9 / 1,4 - Residentiel & Industrie 3 / 7 / 3		Potabilité EU = Σ PFAS < 500 / Σ 20 PFAS < 100
Suisse		OSOLS surface <20cm aire de jeux (Σ 9PFAS <30 Sols excavés : fond de fouille Σ 9PFAS<30 Réemploi ou remblais Σ 9PFAS < 1,5-2,5		OSITES Intervention si Σp 36 PFAS > 200 ng TEQ/L Surveillance si Σp 36 PFAS > 50 ng TEQ/L Rejet NQE < + 0,65 ng/L / PFAS eaux surface

Quels niveaux d'impact dans les sols et les eaux ?

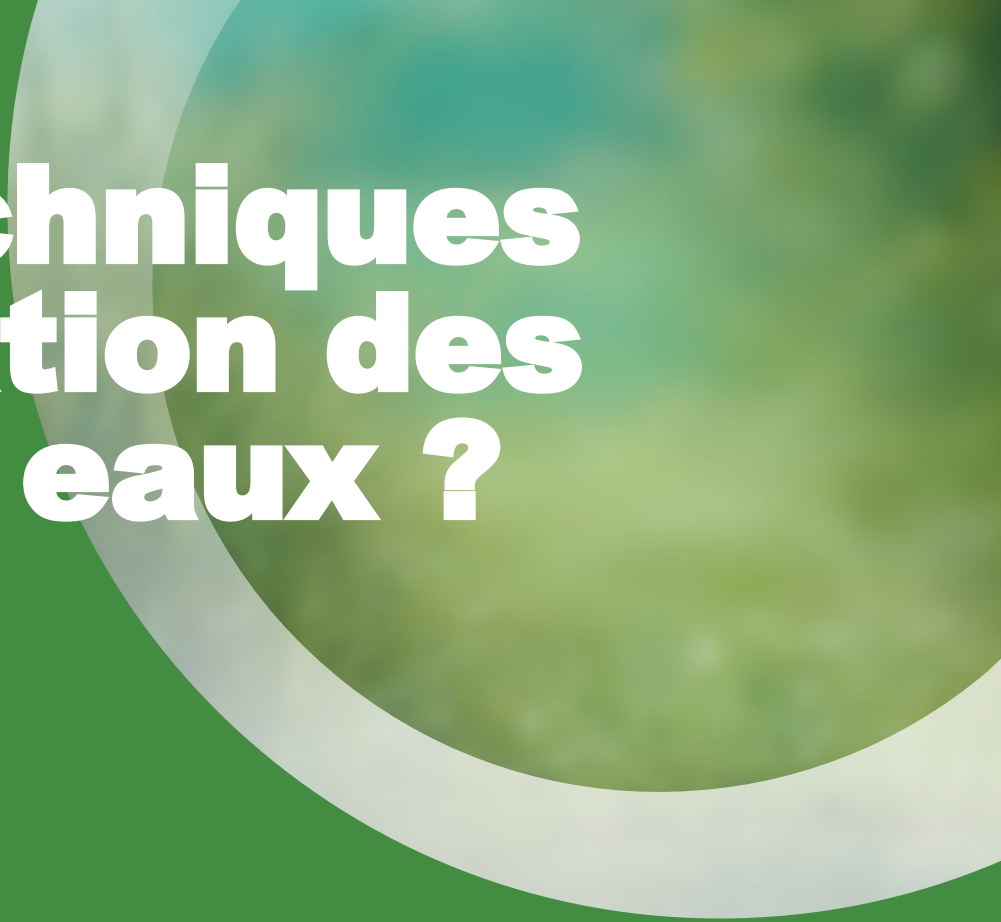


VEOLIA

Niveaux d'impacts dans les sols et les nappes



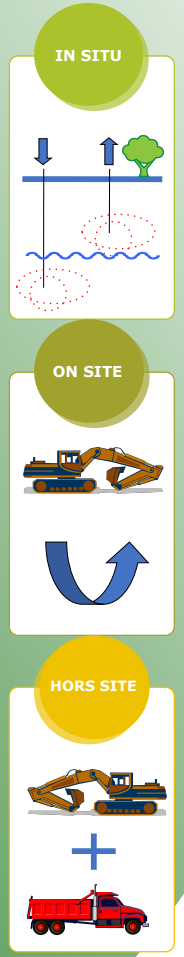
Quelles techniques de remediation des sols et des eaux ?

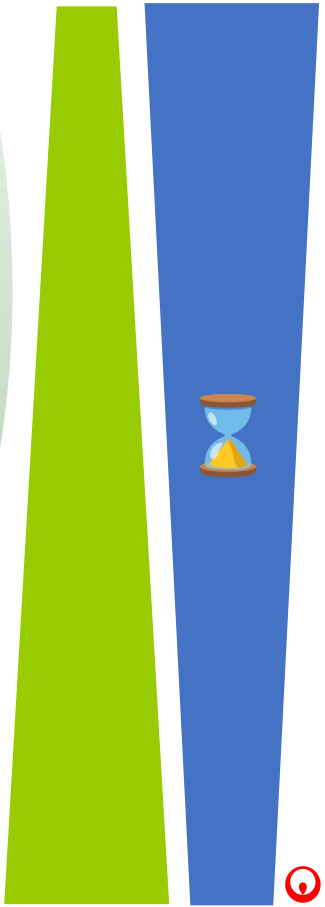


VEOLIA

Quelles techniques de traitement en SSP ?

In-situ :	Maturité
• Pump & Treat (CA / Résine)	++++
• Fractionnement par mousse (SAFF)	+++
• Soil mixing (stabilisation / solidification) :	++
• Barrières perméables réactives (Injection séquestrant / extraction Funnel & Gate)	++
• Lessivage / Soil flushing	++
• Phytoextraction	+/-
• Bio (aérobie / anaérobie)	- - -
• Thermique (ZNS)	+/++
• Oxydation chimique	- -
On site :	
• Lavage du sol	++++
• Stabilisation / Stabilisation solidification	++
• Eaux : Fractionnement par mousse (FF) / NTP	+/++
• Dégradation Microbienne (enzymes / fongiques)	- -
• Thermopile	+++
Off site (centres de traitement) :	
• Lavage du sol	++++
• Désorption thermique	+/++
• Cimenterie	+/-
• Incinération déchets spéciaux	++++
• Stockage (ISDD)	++++





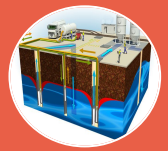
Les solutions VEOLIA Hazardous Waste Europe

Sites et Sols pollués

Sols



Eaux de nappe



Déchets contaminés

Déchets aqueux légèrement contaminés



Terres polluées



Charbons actifs contaminés



Déchets liquides et solides contaminés



Déchets solides contaminés (REFIOM, REFIDI, boues d'hydroxydes métalliques)



Principe de Traitement	**Traitement de la contamination**	**Traitement de la contamination**	**Destruction de la contamination par traitement thermique**	**Confinement de la pollution résiduelle**
	In situ/ On site & Off site	**Sites SARPI VEOLIA**		
Techniques	Excavation & élimination sur les sites SARPI Lavage Stabilisation Solidification	Filtration CA IEX Concentration SAFF Osmose	Traitement physico Evapoconcentration Osmose	Lavage	Régénération des charbons actifs	Incinération déchets dangereux + réactifs spécifiques	Installation de stockage de déchets dangereux (ISDD)
Garanties	**Concentration Σ PFAS (yc POP) (*) :** Gestion à la source des pollutions concentrées Approche globale et intégrée jusqu'à 200 mg/kg Gestion des nappes phréatiques contaminées : Solutions In-Situ / On-site	**Concentration Σ PFAS dans les DD (hors POP) (**) :** < 1 mg/kg Les concentrats, boues et matériaux de filtration contaminés sont envoyés en destruction par incinération (interne)	**Concentration Σ PFAS dans les DD (hors POP) (**) :** A définir localement disponibles et les aménagements de la plate-forme (revêtement étanche, gestion des eaux, traitement des eaux…)	**Concentration Σ PFAS dans les charbons actifs usagés (hors POP) (**)** < 50 mg/kg	**Concentration Σ PFAS dans les DD** pas de valeur limite Efficacité de traitement DE 99,99 % DRE 99,9999 % Pollution résiduelle dans les installations de stockage interne des déchets dangereux (mâchefers et REFIDI)	**Concentration Σ PFAS dans les ISDD (hors POP) (**) :** ✓ En stockage direct si < 1 mg/kg ✓ En stabilisation + stockage si entre > 1 mg/kg & < 50 mg/kg NB : à noter qu'en stockage ISDnD Σ [PFAS] < 0,05 mg/kg & stockage ISDI chaque [PFAS] < 0,0001 mg/kg (LQ)

(*) Concentration PFAS pouvant être revue à la hausse selon les cas de figure. Nécessité d'une étude approfondie.
(**) Pour les déchets contenant des PFAS POP, c'est le règlement 2019/1021 sur les POP qui s'applique pour le traitement

Filières VEOLIA pour les terres (France)

Les substances **PFAS classées POP** (polluant organique persistant) et les seuils POP associés sont les suivants :

- PFOA et ses sels : 1 mg/kg
- PFHxS et ses sels : 1 mg/kg
- PFOS : 50 mg/kg
- Σ composés apparentés au PFOA : 40 mg/kg (toute substance qui se dégrade en PFOA*)
- Σ composés apparentés au PFHxS : 40 mg/kg (toute substance contenant le fragment C6F13SO2*)

(*) : modified Total Oxidisable Precursor (m-TOP ASSAY) pour apprécier le risque

⇒ **Filière Incinération : Σ [PFAS] Pas de valeur limite**

filières de stockage SARPI si les seuils POP sont respectés, les critères à l'entrée sont :

⇒ **Stockage ISDI / ISDI+ : Chaque PFAS < LQ** (limite de quantification en cours)
⇒ **Stockage ISDND : Σ [PFAS] < 0,05 mg/kg**
⇒ **Stockage direct ISDD Σ [PFAS] < 1 mg/kg**
⇒ **Stabilisation ISDD : 1 mg/kg < Σ [PFAS] < 50 mg/kg**

Ces seuils sont susceptibles d'évoluer en fonction de la réglementation, des directives du groupe ou du Sypred, ou encore du retour d'expérience.

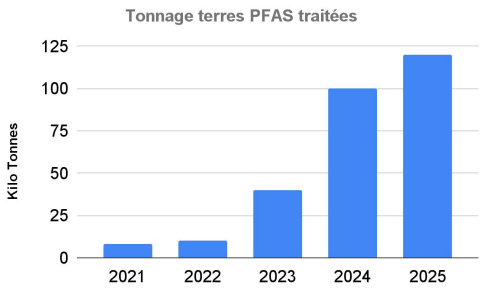
Liste des 30 PFAS à analyser pour les filière VEOLIA HW

Nom	Abréviation
Acide perfluorobutanoïque	(PFBA)
Acide perfluoropentanoïque	(PFPeA)
Acide perfluorohexanoïque	(PFHxA)
Acide perfluoroheptanoïque	(PFHpA)
Acide perfluorooctanoïque (linéaire)	(PFOA)
Acide perfluorooctanoïque (ramifié)	(B_PFOA)
Acide perfluorodecanoïque	(PFDA)
Acide perfluoro-n-nonanoïque	(PFNA)
Acide perfluoro-n-undécanoïque	(PFUnA)
Acide perfluorododecanoïque	(PFDoDA)
Acide perfluorotridecanoïque	(PFTrDA)
Acide perfluoro-1-butanesulfonique	(PFBS)
Acide perfluoropentane-1-sulfonique	(PFPeS)
Acide perfluorohexanesulfonique	(PFHxS)
Acide perfluoroheptanesulfonique	(PFHpS)
Acide perfluoro-1-octanesulfonique (linéaire)	(PFOS)
Acide perfluoro-1-octanesulfonique (ramifié)	(PFOS)
Acide perfluorononanesulfonique	(PFNS)
Acide perfluorodecanesulfonique	(PFDS)
Acide perfluoroundécanesulfonique	(PFUDaS)
Acide perfluorododécanesulfonique	(PFDoaS)
Acide perfluorotridécanesulfonique	(PFTDaS)
Acide perfluorotetradecanoïque	(PFTeDA)
Acide perfluorohexadecanoïque	(PFHxDA)
Acide perfluorooctadectanoïque	(PFODA)
Acide 2,3,3,3-Tétrafluor-2-(Heptafluoropropoxy)Propanoïque	(HFPO-DA)(Gen-X)
Acide 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoïque	(ADONA)
C6O4/F-DIOX	
8:2 Acide sulfonique fluotélomère	(8:2 FTS)
Acide sulfonique fluotélomère 6:2	(6:2 FTS)

VEOLIA Remediation Belgique
Grimbergen (soil washing)

- Acceptation des terres : jusqu'à 200 µg/kg-MS en PFAS totaux
- Critères : fines + MO < 63 µm : 40% max
- Tarification au cas par cas





Valorisation	PFOS µg/kg-MS	PFOA µg/kg-MS	∑ 34 PFAS µg/kg-MS
Réutilisation libre Flandres	3	2	8

LIST OF PFAS COMPOUNDS

Perfluor-n-butaanzuur (PFBA)	PFBA	F(CF2)3COOH
Perfluor-n-pentaanzuur (PFPeA)	PFPeA	F(CF2)4COOH
Perfluor-n-hexaanzuur (PFHxA)	PFHxA	F(CF2)5COOH
Perfluor-n-heptaanzuur (PFHpA)	PFHpA	F(CF2)6COOH
Perfluor-n-octaanzuur (PFOA)	n-PFOA	F(CF2)7COOH
Perfluor-n-nonaanzuur (PFNA)	PFNA	F(CF2)8COOH
Perfluor-n-decaanzuur (PFDA)	PFDA	F(CF2)9COOH
Perfluor-n-undecaanzuur (PFUnDA)	PFUnDA	F(CF2)10COOH
Perfluor-n-dodecaanzuur (PFDoDA)	PFDoDA	F(CF2)11COOH
Perfluor-n-tridecaanzuur (PFTrDA)	PFTrDA	F(CF2)12COOH
Perfluor-n-tetradecaanzuur (PFTeDA)	PFTeDA	F(CF2)13COOH
Perfluor-n-hexadecaanzuur (PFHxDA)	PFHxDA	F(CF2)15COOH
Perfluor-n-Butaansulfonzuur (PFBS)	PFBS	F(CF2)4SO3H
Perfluor-n-pentaansulfonzuur (PFPeS)	PFPeS	F(CF2)5SO3H
Perfluor-n-Hexansulfonzuur (PFHxS)	PFHxS	F(CF2)6SO3H
Perfluor-n-heptaansulfonzuur (PFHpS)	PFHpS	F(CF2)7SO3H
Perfluor-n-octaansulfonzuur (PFOS)	n-PFOS	F(CF2)8SO3H
Perfluor-n-Nonaansulfonzuur (PFNS)	PFNS	F(CF2)9SO3H
Perfluor-n-decaansulfonzuur (PFDS)	PFDS	F(CF2)10SO3H
Perfluoroctaansulfonamide (PFOSA)	PFOSA	F(CF2)8SO2NH2
N-Methylperfluor-n-octaansulfonamide (MeFOSA)	MeFOSA	F(CF2)8SO2NHCH3
N-Ethylperfluor-n-octaansulfonamide (EtFOSA)	EtFOSA	F(CF2)8SO2NHC2H5
N-Methylperfluor-n-octaansulfonamido-azijnzuur (MeFOSAA)	MeFOSAA	F(CF2)8SO2NHCH3(CH2)2OH
N-Ethylperfluor-n-octaansulfonamido-azijnzuur (EtFOSAA)	EtFOSAA	F(CF2)8SO2NHC2H5(CH2)2OH
4:2 fluortelomeer sulfonzuur (4:2FTS)	4:2FTS	F(CF2)4CH2CH2SO3H
Fluortelomeersulfonzuur(6:2 FTS)	6:2 FTS	F(CF2)6CH2CH2SO3H
8:2 fluortelomeer sulfonzuur (8:2FTS)	8:2FTS	F(CF2)8CH2CH2SO3H
8:2 Polyfluoralkylfosfaat diester (8:2diPAP)	8:2diPAP	(F(CF2)8CH2CH2O)2P(OH)O
(GenX) 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur	GenX	F(CF2)30CF(CF3)COOH
4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur (ADONA)	ADONA	C10H11N4NaO5S
perfluor-4-ethylcyclohexaansulfonzuur (PFECHS)	PFECHS	F(CF2)(C6H10)SO3H
Perfluor-n-butaansulfonamide (PFBSA)	PFBSA	F(CF2)4SO2NH2
N-methylperfluor-n-butaansulfonamide (MePFBSA)	MePFBSA	F(CF2)4SO2NHCH3
Perfluor-n-hexaansulfonamide (PFHxSA)	PFHxSA	F(CF2)6SO2NH2

Quels essais pilotes ?



Laboratoire d'essais Sarpi Remediation

PFAS

N°	PILOTE LABORATOIRE	TECHNIQUE DE DÉPOLLUTION CONCERNÉE
1	Essai de réactivation BIO aérobie - SOL	Biotertre (C325b) / Andain (C325b) / Landfarming (C325d) / Bioventing (C315b)
2	Essai de réactivation BIO aéro/ anaérobie - NAPPE	BIONAPPE® aérobie (C315a) ou anaérobie (C315c)
3	Cinétique de biodégradation - SOL	Biotertre (C325b) / Andain (C325b)/ Landfarming (C325d) / Bioventing
4	Cinétique de biodégradation - NAPPE	BIONAPPE® aérobie (C315a) ou anaérobie (C315c)
5	Choix de l'oxydant (DSO, MOT, …)	Oxydation in situ (C313b) / on site (C323b)
6	Essai d'oxydation (1 oxydant, 3 concentrations)	Oxydation in situ (C313b)
7	Essai de réduction in situ par fer zéro (T1/2…)	Barrière réactive (C316a)
8	Essai de photolyse / photo oxydation	Traitement d'eau par H2O2 UV (C333b)
9	Etude de la pollution métallique d'un Sol (spéciation)	Tout traitement des pollutions métalliques
10	Etude de la répartition d'un polluant	Tri granulométrique (C3221b) / criblage / lavage des Sols (+3 options : cyclonage / attrition / contrelavage)
11	Caractérisation d'une eau (estimation risques carbonates, Fer, H2S)	Pompage et Traitement (C311d) / Stripping (C333a) / ETP (C311b)
12	Essai de lavage de Sol en colonne	Lavage in situ (C313a) - Soil flushing
13	Essais de stripping	Traitement eau (C333a) / sparging (C311c)
14	Traitement d'eau sur media filtrant (essai isotherme ou perçage)	Traitement d'eau sur résine (C334d), autre média (C334b) ou CA (C333c)
15	Essai de volatilisation des polluants légers d'un Sol	Volatilisation Forcée Contrôlée (MECALIS® / ROTALIS®)
16	Fiche produit/Valorisation : Chimie / brut (HCT, HAP, PCB, BTEX, COHV, Mtx8), Géotechnique (GTR, granulo, VBS, +/- proctor)	Valorisation sur site Réutilisation des terres / Renaturation
17	Stabilisation	Stabilisation avec et sans Solidification - essais court et long terme
18	Essai thermique	Traitement thermique en four (TDU) / capacité et conductivité thermique / essais en colonne (ISTD/OSTD)
19	Déshydratation des boues	Jar test / Geotube ou filtre-presse
20	Neutralisation	Essais de titration pH toutes matrices (boues / goudrons acides etc..)
21	SAFF® (Surface Active Foam Fractionation) / CFF (Continuous Foam Fractionation)	Extraction des PFAS des eaux polluées & concentration dans les mousses
...	Essais à façon	Tout traitement thermique, biologique, physique ou chimique.

SAFF® (Surface Active Foam Fractionation ®) - EPOC







EPOC ENVIRO

envytech Miljö & teknik

Distributeur Scandinavie

cornelsen Re:Think Water

Distributeur Scandinavie / Benelux
DE AU CH IT excl. UK

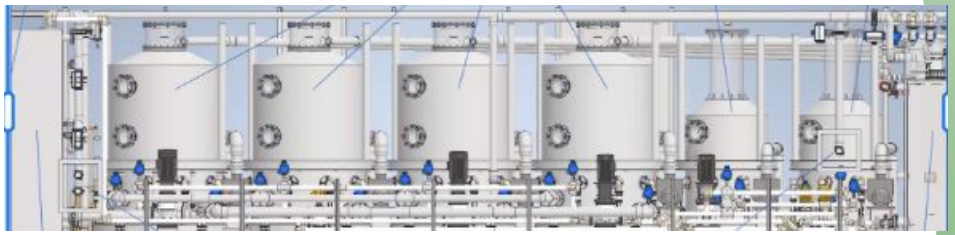
Australie

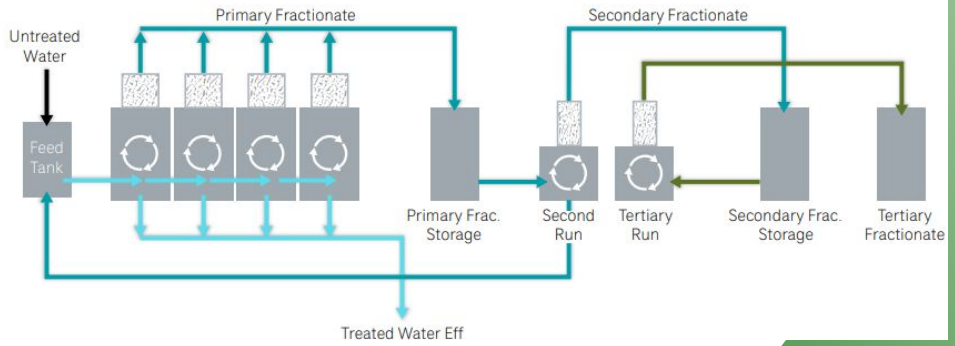
allonnia

Distributeur excl. Amérique du nord

SAFF® (Surface Active Foam Fractionation ®) - EPOC ENVIRO







PFAS SUBSTANCE	PREDICTED REMOVAL RATE GROUND WATER	PREDICTED REMOVAL RATE LEACHATE	PREDICTED REMOVAL RATE SURFACE RUNOFF	POSSIBLE INCREASE IN REMOVAL EFFICIENCY BY USING NEW PATENTED (ALLONIA) ADDITIVE
PFDA	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
8:2 FTS	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
4:2 FTS	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
PFNA	>99,9%	>99,9%	82–99%	Up to 99,9%
6:2 FTS	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
PFOA	>99,9%	>99,9%	95–99%	Up to 99,9%
PFOS	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
PFOSA	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
PFHpS	>99,9%	>99,9%	>99,9%	Up to 99,9%
PFHxS	>99,9%	>99,9%	80–99%	Up to 99,9%
PFHpA	70%	>99,9%	90–99%	Up to 99,9%
PFHxA	30–60%	30–60%	30–60%	Up to 99,9%
PFPeA	0–25%	0–25%	0–25%	Up to 97%
PFBA	0–20%	0–20%	0–20%	Up to 0–40%
PFBS	0–20%	0–40%	0–20%	Up to 99,9%

Table 2: Predictive removal efficiency using the SAFF technology on different waters, with- and without the use of additives.

Première concentration	C1 = 10-20 x C0
Seconde concentration	C2 = 100-1000 x C1
Troisième concentration	C3 = 50-200 x C2 (jusqu'à 1500)
Total concentration possible	C3 = 50 000 x C0 (lixiviats) C3 = 2 000 000 x C0 (Eaux souterraines)

Test laboratoire Mini SAFF ®





MiniSAFF® (Surface Active Foam Fractionation)
(EPOC Enviro) chez Veolia Innovation

Test laboratoire Mini SAFF

EAU 1 : nappe souterraine

pH = 7,5
dureté = 32,4 °dF
Cond = 474 µS/cm
DCO = 9,5 mg/l
COT = 3,5 mg/l





10 mg/l d'additif:
- 94% PFBA

Pas d'additif :
Eau non auto moussante
PFBA inchangé

PFAS	Unité	TEMOIN	BF (TRAITÉ sans booster)	FF (avec booster 4 mg/l)	FF (avec booster 10 mg/l)
PFDoA	ng/l	<4,6	<4,6	<4,6	<4,6
PFUnA	ng/l	<6,3	<6,3	<6,3	<6,3
PFDeA	ng/l	174	<3,7	<3,7	<3,7
PFNA	ng/l	43	<9,4	<9,4	<9,4
PFOA	ng/l	9 600	630	<6,2	<6,2
PFOS	ng/l	4 667	1 290	83	156
PFHpA	ng/l	297	167	<14	<14
C6O4	ng/l	1 580	1 290	<5,3	<5,3
GenX	ng/l	2 147	1 590	<50	<50
PFHxS	ng/l	437	72	<9,6	<9,6
PFHxA	ng/l	460	460	<10	<10
PFPeA	ng/l	343	0	<3,9	<3,9
PFBS	ng/l	4 200	4 300	<9,2	<9,2
PFBA	ng/l	933	1 020	400	54
Somme PFAS		24 881	10 819	483	210
Abattement moyen			-56,5%	-98,1%	-99,2%

Test laboratoire Mini SAFF

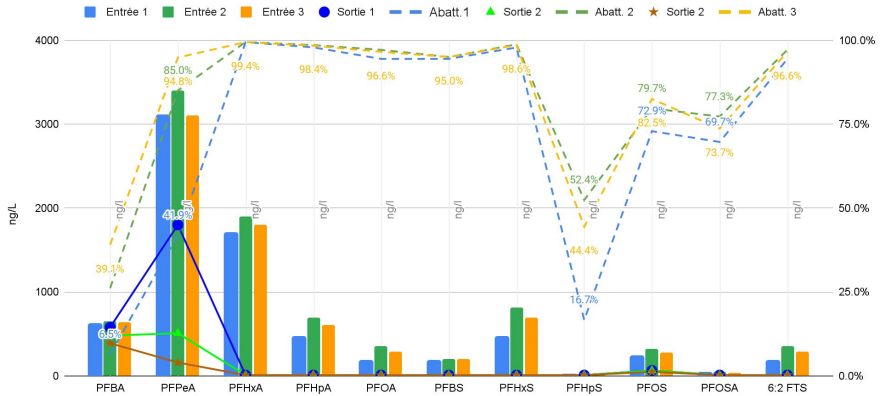
EAU 2 : Eau soil washing

pH = 9,6
Cond = 6620
DBO_5 = 500 mg/l
COT = 210 mg/l





Booster	mg/l	0			4			8		
		Entrée 1	Sortie 1	Abatt.1	Entrée 2	Sortie 2	Abatt. 2	Entrée 3	Sortie 2	Abatt. 3
PFBA	ng/l	620	580	6.5%	650	480	26.2%	640	390	39.1%
PFPeA	ng/l	3100	1800	41.9%	3400	510	85.0%	3100	160	94.8%
PFHxA	ng/l	1700	10	99.4%	1900	10	99.5%	1800	10	99.4%
PFHpA	ng/l	470	10	97.9%	690	10	98.6%	610	10	98.4%
PFOA	ng/l	180	10	94.4%	350	10	97.1%	290	10	96.6%
PFBS	ng/l	180	10	94.4%	200	10	95.0%	200	10	95.0%
PFHxS	ng/l	460	10	97.8%	810	10	98.8%	690	10	98.6%
PFHpS	ng/l	12	10	16.7%	21	10	52.4%	18	10	44.4%
PFOS	ng/l	240	65	72.9%	320	65	79.7%	280	49	82.5%
PFOSA	ng/l	33	10	69.7%	44	10	77.3%	38	10	73.7%
6:2 FTS	ng/l	180	10	94.4%	350	10	97.1%	290	10	96.6%
Σ PFAS 35	**ng/l**	**7200**	**2400**	**66.7%**	**8800**	**1100**	**87.50%**	**8000**	**600**	**92.5%**

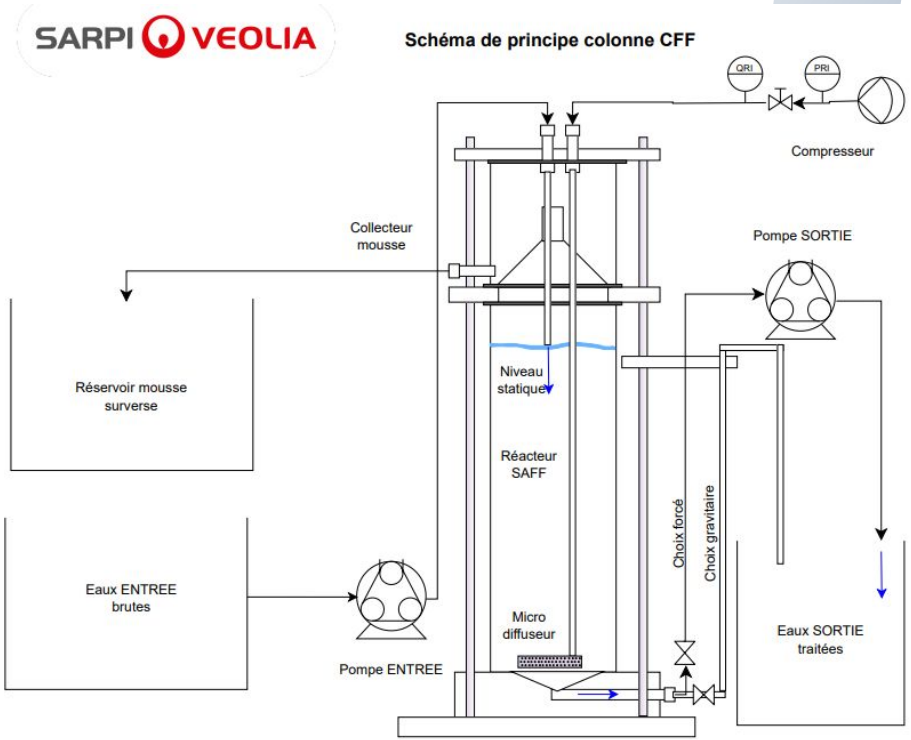


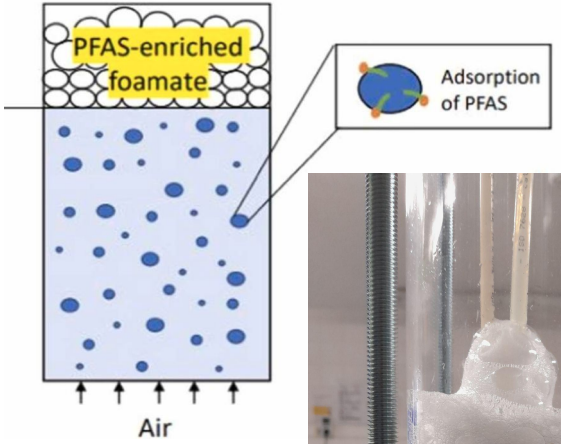
Pas d'additif :
Eau auto moussante
- 67% PFAS 35
- 7% PFBA

8 mg/l d'additif:
- 93% PFAS 35
- 39% PFBA

Laboratoire d'essais Veolia / Sarpi Remediation

CFF (continuous Foam Fractionation)
chez SARPI Remediation







Laboratoire d'essais Veolia/ Sarpi Remediation - CFF

Analyse	Unité	fut PFAS CFF
pH- d'après NF T 90-008	/	7,3
Conductivité - d'après NF EN 27888	µS/cm	492
Eh Potentiel d'oxydoréduction	mV	-86
COT - Carbone organique total (SPECTROMETRIE D'ABSORPTION)	mg/L	60,5
DCO - Demande chimique en oxygène - d'après NF T90-101	mg/L	33,1
MES - Matières en suspension - d'après NF EN 872	mg/L	59,6
ANALYSES PAR ELECTRODE SPECIFIQUE - méthode interne		
Chlorures (Cl-)	mg/L	18
Fluorures (F-)	mg/L	< 0,5
Nitrates (NO3-)	mg/L	0,74
Phosphates (PO43-)	mg/L	3,0
Sulfates (SO42-)	mg/L	78
METAUX DISSOUS - d'après NF EN ISO 17294-2		
Antimoine	µg/l	< 1
Arsenic	µg/l	< 10
Baryum	µg/l	210
Cadmium	µg/l	< 5
Chrome	µg/l	< 5
Cuivre	µg/l	< 5
Fer	µg/l	< 50
Manganèse	µg/l	< 5
Mercure	µg/l	< 0,5
Molybdène	µg/l	< 5
Nickel	µg/l	< 5
Plomb	µg/l	< 5
Sélénium	µg/l	< 5
Zinc	µg/l	< 20
Calcium	µg/l	6700
Potassium	µg/l	7100
Sodium	µg/l	10000
Magnésium	µg/l	4300

paramètre	Unité	TEMOIN	TEMOIN TOP ASSAY
PFBA (acide perfluorobutanoique)	**ng/l**	**130 000**	**110 000**
PFPeA (acide perfluoropentanoique)	ng/l	960	1 000
PFHxA (acide perfluorohexanoique)	ng/l	1 500	1 200
PFHpA (acide perfluoroheptanoique)	ng/l	330	410
PFOA totale (acide perfluorooctanoique)	ng/l	1 200	870
PFNA (acide perfluorononanoique)	ng/l	470	480
PFDA (acide perfluorodecanoique)	ng/l	200	190
PFUnDA (acide perfluoroundecanoique)	ng/l	529	1 000
PFDoDA (acide perfluorododecanoique)	ng/l	5	<20
PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	180	240
PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	320	400
PFHxS totale (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	3 900	2 800
PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	340	310
PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	**ng/l**	**32 000**	**56 000**
TOTAL PACK 55		**180 487**	**ND**
Total base 14		**171 934**	**174 900**

Laboratoire d'essais Veolia/ Sarpi Remediation (CFF)

Condition 1

- Ratio air/eau = 10
- Temps de résidence colonne: 30 minutes
- Mode de traitement: CFF
- Additif = Non

Résultats

- PFBA = - 27 %
- PFHxA = - 38 %
- PFOA = - 91 %
- PFHxS = - 85 %
- PFOS = - 88 %
- 6:2 TFS = - 91 %
- Total PFAS hors PFBA - 82 %

	paramètre (PACK 55 > LQ)	Unité	E0 EAU départ	E1 eau Traitée	Abattement	E1 MOUSSE	Facteur concentration
	Dosage additif CC mg/L	mg/l		0 - pas d'additif			
Carboxyliques	**PFBA (acide perfluorobutanoique)**	**ng/l**	**130 000**	**95 000**	**27%**	**96 000**	**74%**
	PFPeA (acide perfluoropentanoique)	ng/l	960	700	27%	780	81%
	PFHxA (acide perfluorohexanoique)	**ng/l**	**1 500**	**930**	**38%**	**1 800**	**120%**
	PFHpA (acide perfluoroheptanoique)	ng/l	330	140	58%	1 800	545%
	PFOA totale (acide perfluorooctanoique)	ng/l	1 200	110	91%	8 100	675%
	PFNA (acide perfluorononanoique)	ng/l	470	38	92%	4 000	851%
	PFDA (acide perfluorodecanoique)	ng/l	200	15	93%	1 500	750%
	PFUnDA (acide perfluoroundecanoique)	ng/l	529	99	81%	4 400	832%
	PFTrDA (acide perfluorotridecanoique)	ng/l	39	4	89%	<60	
Sulfoniques	PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	180	190	-6%	210	117%
	PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	320	190	41%	900	281%
	PFHxS totale (acide perfluorohexane sulfonique)	**ng/l**	**3 900**	**570**	**85%**	**28 000**	**718%**
	PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	340	24	93%	2 800	824%
	PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	**ng/l**	**32 000**	**4 000**	**88%**	**560 000**	**1750%**
	PFNS (acide perfluorononane sulfonique)	ng/l	<72	4		170	
	PFDS (acide perfluorodecane sulfonique)	ng/l	96	2	98%	<60	
	PFUnDS (acide perfluoroundecane sulfonique)	ng/l	33	1	97%	<60	
	PFDoDS (acide perfluorododecane sulfonique)	ng/l	110	3	97%	<60	
	PFTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	27	<1		<60	
	6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	**ng/l**	**2 200**	**200**	**91%**	**16 000**	**727%**
	8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	700	46	93%	5 300	757%
	10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	59	8	87%	<140	
Sulfonamides	PFBSA (perfluorobutanesulfonamide)	ng/l	260	300	-15%	400	154%
	PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	**ng/l**	**4 900**	**1 700**	**65%**	**53 000**	**1082%**
	PFOSA totale (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	730	64	91%	5 000	685%
	Total PFAS	ng/l	**181 083**	**104 338**	**42%**	**790 160**	**436%**
	PFBA	ng/l	130 000	95 000	27%	96 000	74%
	Total PFAS hors PFBA	ng/l	**51 083**	**9 338**	**82%**	**694 160**	**1359%**

Laboratoire d'essais Veolia/ Sarpi Remediation (CFF)

Condition 2

- Ratio air/eau = 10
- Temps de résidence colonne : 30 minutes
- Mode de traitement : CFF
- Additif = Oui VWTS non polluant 75 mg/l

Résultats

- PFBA = - 26 %
- PFHxA = - 33 %
- PFOA = - 90 %
- PFHxS = - 89 %
- PFOS = - 86 %
- 6:2 TFS = - 87 %
- Total PFAS hors PFBA - 81 %

	paramètre (PACK 55 > LQ)	Unité	E0 EAU départ	E2 Eau Traitée	Abattement	E2 MOUSSE	Facteur concentration
	Dosage additif CC mg/L	mg/l		75 (non polluant)			
Carboxyliques	**PFBA (acide perfluorobutanoique)**	ng/l	130 000	96 000	26%	100 000	77%
	PFPeA (acide perfluoropentanoique)	ng/l	960	880	8%	1 200	125%
	PFHxA (acide perfluorohexanoique)	ng/l	1 500	1 000	33%	3 400	227%
	PFHpA (acide perfluoroheptanoique)	ng/l	330	110	67%	2 500	758%
	PFOA totale (acide perfluorooctanoique)	ng/l	1 200	120	90%	8 900	742%
	PFNA (acide perfluorononanoique)	ng/l	470	<51		3 900	830%
	PFDA (acide perfluorodecanoique)	ng/l	200	<51		1 500	750%
	PFUnDA (acide perfluoroundecanoique)	ng/l	529	96	82%	5 600	1058%
	PFTrDA (acide perfluorotridecanoique)	ng/l	39	<30		<300	
Sulfoniques	PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	180	180	0%	<710	
	PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	320	120	63%	1 200	375%
	PFHxS totale (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	3 900	440	89%	23 000	590%
	PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	340	<51		2 200	647%
	PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	32 000	4 400	86%	470 000	1469%
	PFNS (acide perfluorononane sulfonique)	ng/l	<72	<30		<300	
	PFDS (acide perfluorodecane sulfonique)	ng/l	96	<30		<300	
	PFUnDS (acide perfluoroundecane sulfonique)	ng/l	33	<30		<300	
	PFDoDS (acide perfluorododecane sulfonique)	ng/l	110	<30		<300	
	PFTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	27	<30		<300	
	6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	2 200	290	87%	15 000	682%
	8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	700	<81		4 700	671%
	10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	59	<71		<710	
Sulfonamides	PFBSA (perfluorobutanesulfonamide)	ng/l	260	380	-46%	<510	
	PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	ng/l	4 900	1 800	63%	46 000	939%
	PFOSA totale (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	730	66	91%	5 900	808%
	Total PFAS	ng/l	181 083	105 882	42%	695 000	384%
	PFBA	ng/l	130 000	96 000	26%	100 000	77%
	Total PFAS hors PFBA	ng/l	51 083	9 882	81%	595 000	1165%

Laboratoire d'essais Veolia/ Sarpi Remediation (CFF)

Condition 3

- Ratio air/eau = 10
- Temps de résidence colonne : 30 minutes
- Mode de traitement : CFF
- Additif = cationique (esters, triethanolamine éthoxylée, sels quaternaires)

Résultats

- PFBA = - 23 %
- PFHxA = - 66 %
- PFOA = - 89 %
- PFHxS = - 90 %
- PFOS = - 66 %
- 6:2 TFS = - 84 %
- Total PFAS hors PFBA - 65 %

	paramètre (PACK 55 > LQ)	Unité	E0 EAU départ	E3 eau traitée	Abattement	E3 MOUSSE	Facteur concentration
	Dosage additif CC mg/L	mg/l		10 (cationique quaternaire)			
Carboxyliques	**PFBA (acide perfluorobutanoique)**	ng/l	130 000	100 000	23%	110 000	85%
	PFPeA (acide perfluoropentanoique)	ng/l	960	850	11%	1 500	156%
	PFHxA (acide perfluorohexanoique)	ng/l	1 500	520	65%	6 900	460%
	PFHpA (acide perfluoroheptanoique)	ng/l	330	<71		3 100	939%
	PFOA totale (acide perfluorooctanoique)	ng/l	1 200	130	89%	9 300	775%
	PFNA (acide perfluorononanoique)	ng/l	470	71	85%	3 700	787%
	PFDA (acide perfluorodecanoique)	ng/l	200	<51		1 200	600%
	PFUnDA (acide perfluoroundecanoique)	ng/l	529	270	49%	2 400	454%
	PFTrDA (acide perfluorotridecanoique)	ng/l	39	<30		<150	
Sulfeniques	PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	180	<71		960	
	PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	320	<51		1 800	
	PFHxS totale (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	3 900	390	90%	24 000	615%
	PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	340	<51		2 000	588%
	PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	32 000	14 000	56%	330 000	1031%
	PFNS (acide perfluorononane sulfonique)	ng/l	<72	<30		<150	
	PFDS (acide perfluorodecane sulfonique)	ng/l	96	<30		<150	
	PFUnDS (acide perfluoroundecane sulfonique)	ng/l	33	<30		<150	
	PFDoDS (acide perfluorododecane sulfonique)	ng/l	110	<30		<150	
	PFTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	27	<30		<150	
	6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	2 200	360	84%	15 000	682%
	8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	700	87	88%	4 100	586%
	10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	59	<71		<350	
Sulfonamides	PFBSA (perfluorobutanesulfonamide)	ng/l	260	350	-35%	<690	
	PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	ng/l	4 900	1 000	80%	55 000	1122%
	PFOSA totale (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	730	96	87%	4 100	562%
	Total PFAS	ng/l	181 083	118 124	35%	575 060	318%
	PFBA	ng/l	130 000	100 000	23%	110 000	85%
	Total PFAS hors PFBA	ng/l	51 083	18 124	65%	465 060	910%

Laboratoire d'essais Veolia/ Sarpi Remediation (CFF)

Condition 4

- Ratio air/eau = 10
- Temps de résidence colonne : 30 minutes
- Mode de traitement : CFF
- Additif = cationique quaternaire

Résultats

- PFBA = - 47 %
- PFHxA = - 91 %
- PFOA = - 90 %
- PFHxS = - 95 %
- PFOS = - 73 %
- 6:2 TFS = - 91 %
- Total PFAS hors PFBA - 80 %

	paramètre (PACK 55 > LQ)	Unité	E0 EAU départ	E4 Eau traitée	Abattement	E4 MOUSSE	Facteur concentration
	Dosage additif CC mg/L	mg/l		15 (cationique quaternaire)			
Carboxyliques	**PFBA (acide perfluorobutanoique)**	ng/l	130 000	69 000	47%	360 000	277%
	PFPeA (acide perfluoropentanoique)	ng/l	960	220	77%	6 300	656%
	PFHxA (acide perfluorohexanoique)	ng/l	1 500	140	91%	4 400	293%
	PFHpA (acide perfluoroheptanoique)	ng/l	330	<70		<350	
	PFOA totale (acide perfluorooctanoique)	ng/l	1 200	120	90%	360	30%
	PFNA (acide perfluorononanoique)	ng/l	470	<50		<250	
	PFDA (acide perfluorodecanoique)	ng/l	200	<50		<250	
	PFUnDA (acide perfluoroundecanoique)	ng/l	529	100	81%	<150	
	PFTrDA (acide perfluorotridecanoique)	ng/l	39	<30		<150	
Sulfoniques	PFBS (acide perfluorobutane sulfonique)	ng/l	180	<70		<350	
	PFPeS (acide perfluoropentane sulfonique)	ng/l	320	<50		<250	
	PFHxS totale (acide perfluorohexane sulfonique)	ng/l	3 900	200	95%	<400	
	PFHpS (acide perfluoroheptane sulfonique)	ng/l	340	<50		<250	
	PFOS totale (acide perfluorooctane sulfonique)	ng/l	32 000	8 600	73%	4 200	13%
	PFNS (acide perfluorononane sulfonique)	ng/l	<72	<30		<150	
	PFDS (acide perfluorodecane sulfonique)	ng/l	96	<30		<150	
	PFUnDS (acide perfluoroundecane sulfonique)	ng/l	33	<30		<150	
	PFDoDS (acide perfluorododecane sulfonique)	ng/l	110	<30		<150	
	PFTrDS (acide perfluorotridecane sulfonique)	ng/l	27	<30		<150	
	6:2 FTS (acide 6:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	2 200	190	91%	1 600	73%
	8:2 FTS (acide 8:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	700	<80		<400	
	10:2 FTS (acide 10:2 fluorotelomer sulfonique)	ng/l	59	<70		<350	
Sulfonamides	PFBSA (perfluorobutanesulfonamide)	ng/l	260	<95		2 400	923%
	PFHxSA (perfluorohexanesulfonamide)	ng/l	4 900	680	86%	3 400	69%
	PFOSA totale (perfluoro-n-octanesulfonamide)	ng/l	730	50	93%	<150	
	Total PFAS	ng/l	181 083	79 300	56%	382 660	211%
	PFBA	ng/l	130 000	69 000	47%	360 000	277%
	Total PFAS hors PFBA	ng/l	51 083	10 300	80%	22 660	44%

Essais pleine échelle



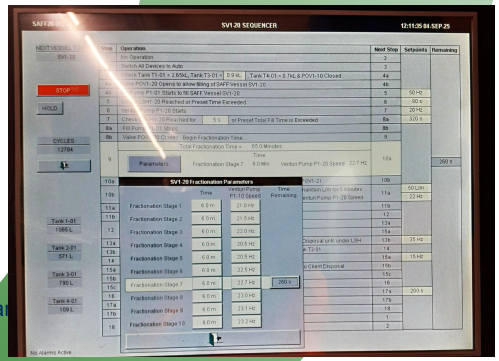
Essais sur site en Europe FR / BE / IT / ...













Conclusion, perspectives



Conclusion & perspectives

⇒ Le moussage séparatif est très prometteur en SSP

- Efficace sur eaux souterraines peu chargées en COT en général
- Pas de concentration des sels dissouts ⇒ traitement des concentrats aisé

⇒ Facteur de concentration très important :

- 50 000 - 2 000 000 pour le Surface active Foam Fractionation SAFF ® EPOC à triple concentration: 1 tasse à café pour 25m3
- Moindre pour le Continuous Foam Fractionation x 10-100

⇒ Facteur Épuratoire

- Chaînes longues >C7 98-99,9% pour le SAFF® EPOC vs 90-99% pour le CFF en batch
- Chaînes courtes C4 (PFBA) entre 20 et 95 % d'abattement. Sensible au COT

⇒ Additif de moussage

- Pas toujours nécessaire
- Efficacité très variable même avec même famille de réactif. Sensibilité selon chimie / effet Ca2+ ⇒ pilotes nécessaires
- Agent moussant: attention à la nocivité (cationiques,...)

⇒ Nécessite un traitement de finition :

- En cas de présence de chaînes courtes (PFBA plus délicat à extraire) : CA + Résine de finition
- Chaînes ultra courte : peu efficace ⇒ Osmose Inverse

⇒ Balance économique

- Avantage : Moins de charbon et résine
- Inconvénient : Gestion des concentrats en filières

Plus d'info sur stand VEOLIA H4 - F104

www.sarpiremediation.com

France
boris.devic-bassaget@veolia.com

Belgique :
filip.jennes@veolia.com