UNIVERSITÄT BERN

FACHSTELLE SEKUNDÄR ROHSTOFFE

Symposium Sites pollués Suisse · 21 octobre 2026

Potentiels et limites de la mobilisation des PFAS dans les procédés de lavage des sols à grande échelle



Gisela Weibel

Fachstelle Sekundärrohstoffe · Université de Berne

Situation initiale

Dans quelles conditions le lavage des sols est-il indiqué pour les PFAS ?

Valeurs limites

en consultation

Les exigences relatives aux déchets contaminés par des PFAS deviennent contraignantes

0.5 → 1.3 Mio. t/a

Capacité de lavage en développement[1]

2026 à 2030

200–400 CHF/t

Composante la plus coûteuse de l'assainissement[1]

surtout élimination des gâteaux de filtration et épuration des eaux usées

Objectif : réintroduire autant de matériaux que possible dans le cycle de recyclage à un coût abordable

Mise en œuvre : identifier les facteurs influençant la mobilisation des PFAS et évaluer leur efficacité

Facteurs chimiques

Facteurs physiques

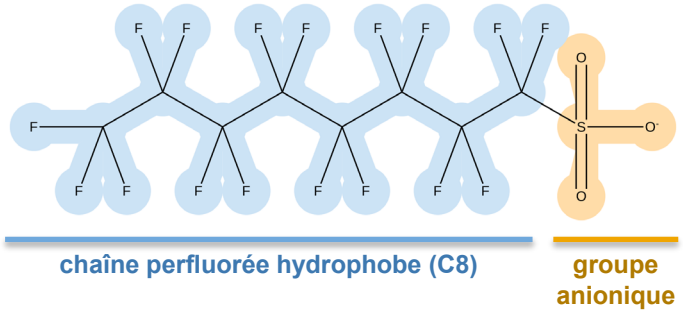
[1] OFEV/Rytec (2025) : PFAS – Kapazitäten der Aushub- und Bodenwaschanlagen (all) (Capacités des installations de lavage des sols et des déblais)

Fixation des PFAS à la matière solide

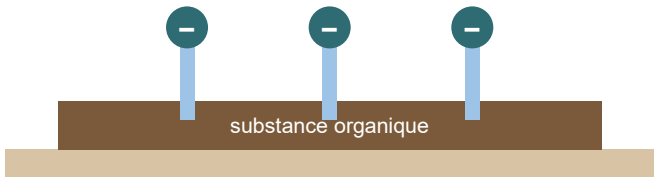
Répartition des PFAS entre les grains du sol et l'eau

Le degré d'adhérence des PFAS aux grains est déterminé par trois facteurs :

PFOS



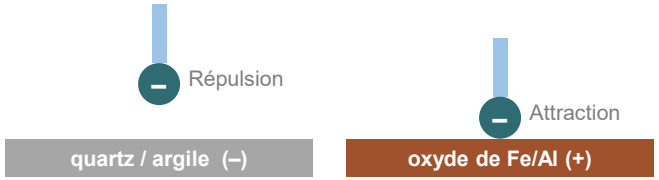
Liaison hydrophobe[2,4]



La chaîne fluorée se fixe à la matière organique (mécanisme principal)

Mécanisme secondaire : surfaces de minéraux argileux non polaires

Électrostatique[1]



Répulsion : surfaces chargées négativement (quartz, argile)

Attraction : oxydes de Fe/Al chargés positivement

Cations dissous[2,3,4]



Écrantage des charges

Ponts cationiques (p. ex. Ca^{2+}) → adsorption accrue

La force de liaison augmente avec la longueur de la chaîne

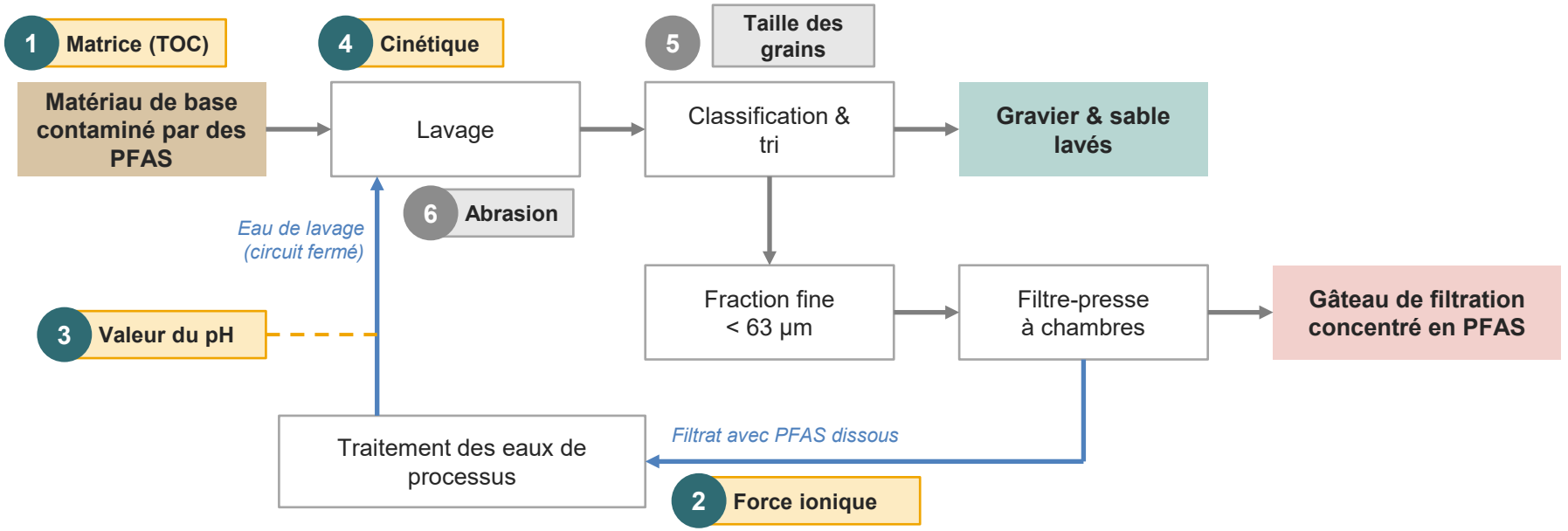
liaison faible
p. ex. PFBA et PFBS → se retrouvent facilement dans l'eau de lavage (PFAS à chaîne courte)

liaison d'intensité moyenne
p. ex. PFHxS, PFOA
→ acides carboxyliques moins forts que les sulfonates

liaison forte
p. ex. PFOS → adhèrent davantage au grain (PFAS à chaîne longue)

[2] Higgins & Luthy 2006; [3] Cai et al. 2022; [4] Fachstelle Sekundärrohstoffe, 2026

Processus de lavage des sols et facteurs d'influence



Facteurs chimiques : répartissent les PFAS entre les grains et l'eau

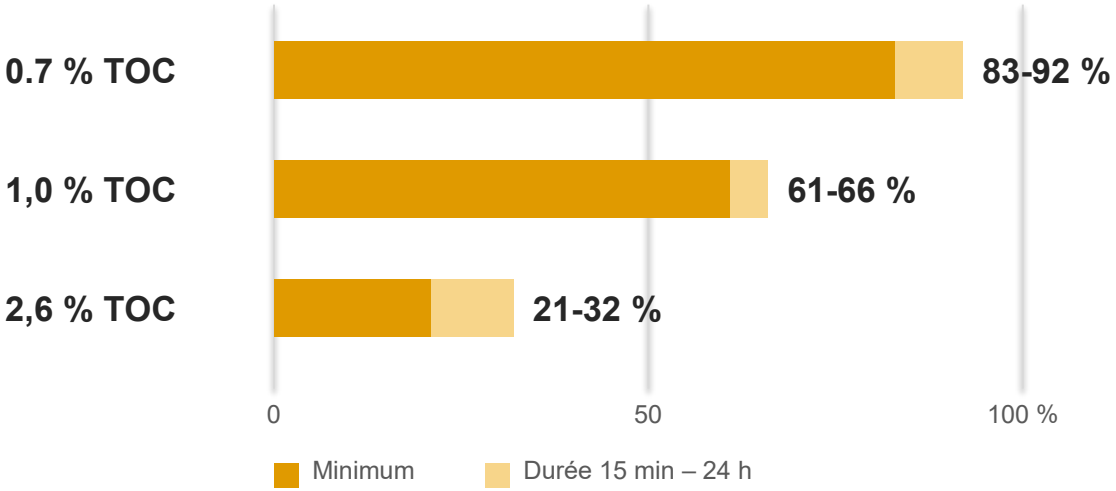
1	**Matrice (TOC)**	Matières organiques comme sorbant principal, auxquelles s'ajoutent les oxydes de Fe/Al et l'argile
2	**Force ionique**	Écrantage des charges, ponts cationiques (M^{2+})
3	**Valeur du pH**	Charge de surface, libération de substances humiques (COD)
4	**Cinétique**	Influence du temps de contact

Facteurs physiques : détachent les particules fines

5	**Taille des grains**	surface importante
6	**Abrasion**	L'attrition élimine par abrasion les particules fines et les dépôts organiques présents sur le gravier/sable

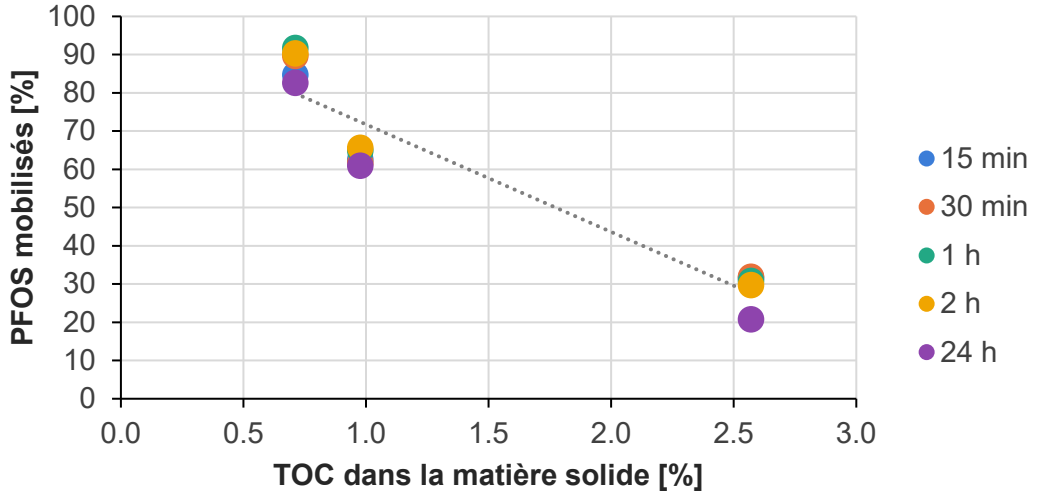
Le TOC inhibe la mobilisation des PFAS

Récupération des PFOS dans l'éluat[4]



PFOS vs. TOC

Essais de laboratoire (<2 mm, L/S 5)



- Plus la teneur en TOC est élevée, moins les PFOS sont mobiles (r = −0,95)
- Le temps de contact n'a pas d'influence, l'équilibre est atteint après 15 minutes déjà

Lorsque la teneur en TOC augmente, la mobilisation des PFOS diminue clairement → Le carbone organique est un facteur déterminant pour la lavabilité.

[4] Fachstelle Sekundärrohstoffe 2026

Mobilisation des PFAS : vérifier le potentiel

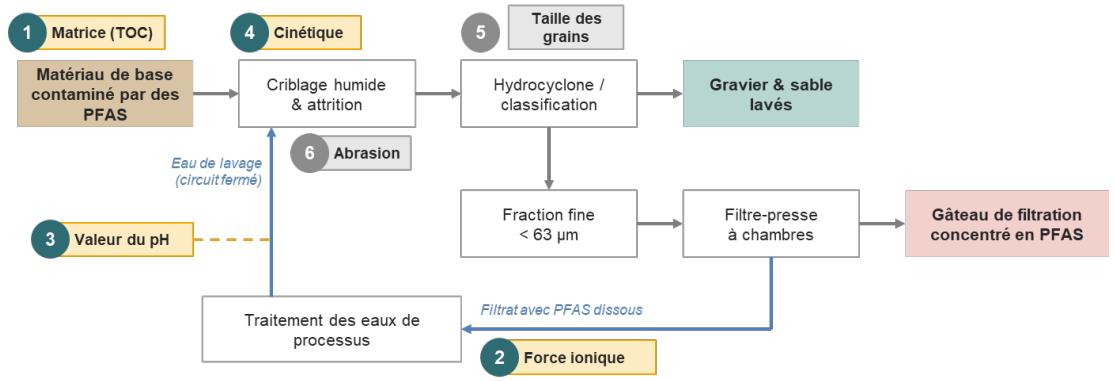
Vérifier l'efficacité des facteurs d'influence en laboratoire → puis leur aptitude à être appliqués à grande échelle

Élaboration des bases

- Tester en laboratoire l'efficacité des facteurs chimiques sur différents matériaux
- Intégrer les facteurs d'influence physiques, dans la mesure où ils peuvent être reproduits en laboratoire
- Hiérarchiser les facteurs d'influence

Application à grande échelle

- Vérifier les résultats de laboratoire sur l'installation
- Étudier l'influence des facteurs physiques en cours d'exploitation
- Estimer le travail et les coûts liés à ces mesures en cours d'exploitation
- Évaluer le bénéfice écologique des mesures



Facteurs chimiques : répartissent les PFAS entre les grains et l'eau
1 Matrice (TOC) 2 Force ionique 3 Valeur pH 4 Cinétique

Facteurs physiques : détachent les particules fines
5 Taille des grains 6 Abrasion

Limites du lavage des sols pour les PFAS

Le lavage des sols constitue une bonne méthode pour traiter les déchets contaminés par des PFAS, à condition d'exploiter son potentiel et d'en connaître les limites.

- **Pas de destruction :** les PFAS ne sont pas détruits, mais concentrés dans les gâteaux de filtration et les eaux de processus. Le problème est ainsi reporté sur les résidus.
- **Traitement complexe de l'eau :** les PFAS dissous doivent être extraits des eaux de processus. Le charbon actif et les échangeurs d'ions chargés doivent ensuite être éliminés comme déchets spéciaux.
- **L'adéquation de la méthode dépend des matériaux** : il faut définir des critères pour établir une stratégie de traitement : quels sont les matériaux adaptés au lavage, et comment faut-il exploiter l'installation?

Prochaines étapes

- **Stratégie de traitement :** définir des critères pour les matériaux et les filières d'élimination : lavage, cimenterie/UIOM ou décharge, en tenant compte de la rentabilité et du bilan environnemental.
- **Gestion de l'installation :** définir des valeurs seuils pour certains paramètres de processus.
- **Tests en conditions réelles :** vérifier ensuite les critères et les seuils sur plusieurs installations, et établir le bilan des flux de PFAS tout au long du processus.
- **Économie circulaire :** quelle quantité de PFAS le système peut-il supporter ? Pour évaluer l'impact environnemental, il convient d'évaluer non seulement la teneur totale, mais aussi les rejets (éluat).

Merci beaucoup

Gisela Weibel

Géologue, Dr. phil. nat.

Fachstelle Sekundärrohstoffe · Université de Berne
Baltzerstrasse 1+3, 3012 Berne

gisela.weibel@unibe.ch

+41 79 588 61 80

+41 31 684 89 53

www.fachstelle-sekundaerrohstoffe.unibe.ch

KERN 2026 · Journée technique, 5 novembre 2026, Berne
www.fachtagung-kern.ch

