

Journée technique d'information et de retour d'expérience de la gestion des sites et sols pollués

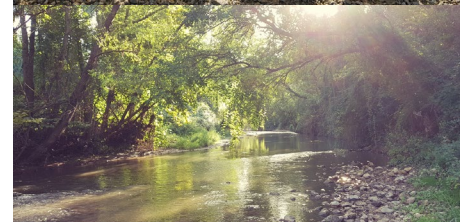
Jeudi 4 décembre 2025

**Organisée par l'Ineris et le BRGM,
en concertation avec le Ministère
en charge de l'environnement**

État des lieux des outils de diagnostic pour les PFAS : focus sur les pratiques d'échantillonnage des sols

Amélie Cavelan

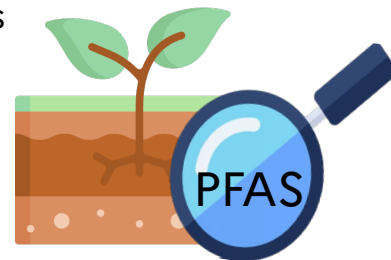
BRGM



Contexte

État des lieux issu d'études bibliographiques réalisées pour le MTE dans le cadre du plan PFAS :

- ❑ États des lieux généraux sur la problématique PFAS et l'utilisation des mousses anti-incendie (AFFF) parus en 2024 : BRGM RP-73924-FR
- ❑ La création du Groupe de Travail échantillonnage PFAS en 2025



Objectifs :

- ❑ Produire une synthèse des pratiques actuelles d'échantillonnage, des protocoles de prélèvement (en France ou à l'étranger)
- ❑ Identifier les besoins méthodologiques et formuler des recommandations techniques.
- ❑ Guider les réflexions futures sur les méthodologies à mettre en place pour l'échantillonnage des sols en vue de l'analyse des PFAS.



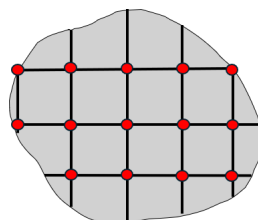
*+ de 30 références, sur + 10 pays, une
centaine de sites*

Stratégies d'échantillonnage

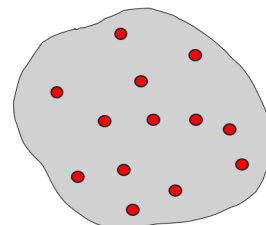
Différentes stratégies sont utilisées selon le contexte de l'étude; elles dépendent des objectifs de l'étude, du degré de connaissances des milieux et des caractéristiques et aménagements du site.

Stratégie d'échantillonnage	Dans quels contextes	Pourquoi ?
Échantillonnage systématique <i>Ex: diagnostic aéroports de Norvège (AVINOR 2012)</i>	Sites étendus , homogène, dont les zones sources ne sont pas connues, Études de cartographie de fond géochimique ou de surveillance environnementale .	Couverture régulière du site. Bonne représentativité spatiale globale de l'échantillonnage.
Échantillonnage aléatoire <i>Ex: diagnostic sites AFFF, Finlande et Canada.</i>	Sites peu documentés, sans source identifiée. Études exploratoires ou de screening .	Rechercher des anomalies en cas de présence de source suspectée, Réduire le nombre d'échantillons et son coût
Échantillonnage dirigé (hot spot sampling) <i>Ex: diagnostic sites AFFF, Flandres, USA.</i>	Sites industriels , zones de rejet liés à des usages spécifiques (ex mousses anti-incendie). Zones sources où l'utilisation des PFAS peut être clairement identifiée.	Échantillonnage concentré dans les zones sources => délimiter les contours.

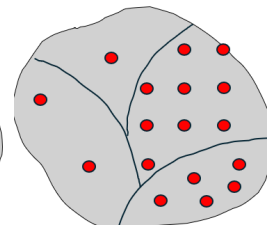
Stratégies classiquement utilisées en SSP



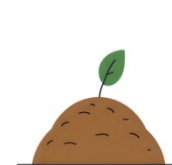
Échantillonnage systématique



Échantillonnage aléatoire

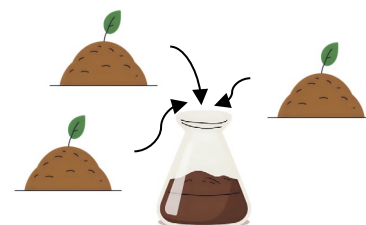


Échantillonnage dirigé



Echantillons ponctuels

Recherche de "hot spots",
Études exploratoires visant à cartographier la variabilité spatiale des PFAS



Echantillons composites

Surveillance environnementale,
Évaluation de la qualité moyenne du sol, sites peu contaminés ou à faible variabilité spatiale.

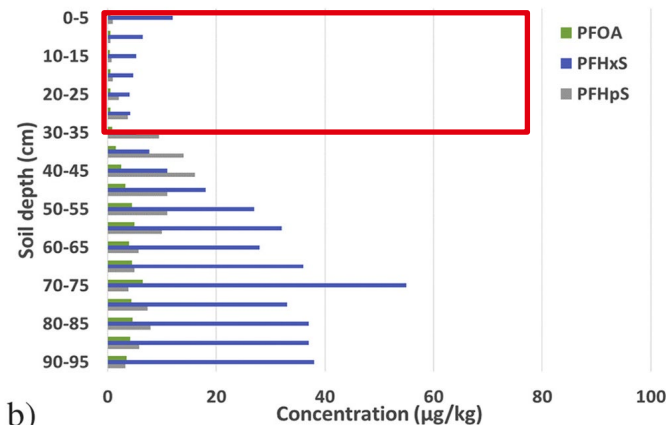
Méthodes de prélèvements

Différentes méthodes utilisées selon le contexte de l'étude

Méthodes d'échantillonnage	Dans quels cas ?
Prélèvement à la pelle/truelle dans les 10 à 40 premiers cm de sol. <i>Ex: Diagnostic sites AFFF, Suède, Australie, Finlande (Bräunig et al., 2017; Reinikainen et al., 2022, 2019)</i>	Hors hot spot pour étudier les rejets diffus, les dépôts atmosphériques, Échantillonner les zones peu anthropisées. Sur site : en cas de campagnes exploratoires. Pour évaluer les risques sanitaires.
Sondages/Carottages à la tarière manuelle, avec prélèvement à intervalles réguliers ou ciblant des horizons spécifiques. <i>Ex: Diagnostic sites AFFF, Norvège (AVINOR, 2012; Nickerson et al., 2020)</i>	Sur les « hot spot » Suivre la migration verticale des PFAS. Sols de composition variable selon la profondeur, ayant pu préférentiellement accumuler ou retenir les PFAS.



Les prélèvements de surface (0–30 cm) sont courants, mais insuffisants pour délimiter une pollution sur site, surtout si la composition des sols varie fortement en fonction de la profondeur.



Høisæter et al., 2019

Facteurs influençant le comportement des PFAS :

- ☐ Une baisse de la **teneur en eau du sol** favorise la rétention des PFAS,
- ☐ L'augmentation des **teneurs en argiles, matières organiques et calcite** du sol favorisent la sorption des PFAS,
- ☐ **pH** : conditions alcalines favorisent la désorption et la lixiviation des PFAS,
- ☐ Du **volume et de la fréquence d'utilisation** des PFAS.

De nombreuses recommandations

Différents types de risque peuvent entraîner une **non-représentativité du résultat d'analyse** :

- ❑ **Contamination croisée** entre l'échantillon et le matériel utilisé pour l'échantillonnage, le conditionnement et le transport, ou le matériel utilisé par le personnel en charge du prélèvement,
- ❑ **Contamination croisée inter-échantillon** lors du prélèvement ou de l'analyse,
- ❑ **Perte lors de l'échantillonnage**, du transport et du conditionnement (ex. : volatilisation de certaines substances, etc.).

Pour limiter ces risques, de nombreuses recommandations existent.

Certaines de ces recommandations reposent sur le principe de précaution, parfois sans validation expérimentale systématique.

=> Surcoût et contraintes techniques importantes.

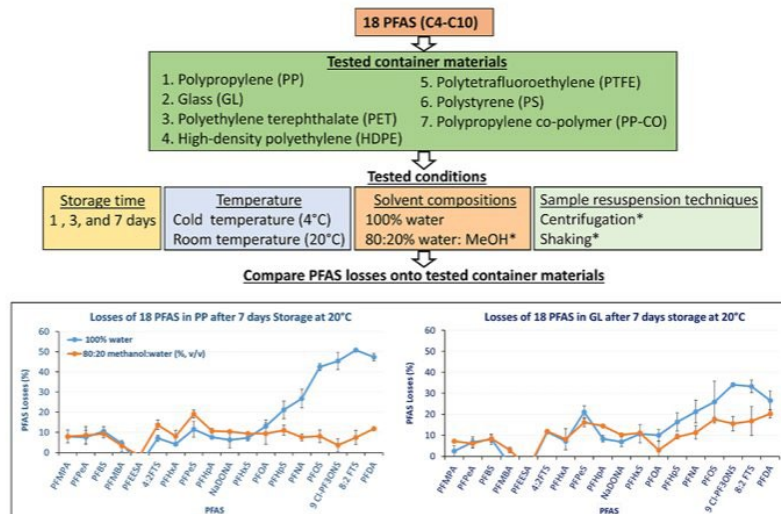
	Matériel non recommandé	Matériel et protocole préconisé
Nettoyage du matériel de terrain	- Détergents contenant des substances fluorées (ex : Decon 90) - Eau non certifiée.	Détergents sans produits fluorés (ex : Liquinox®, and Citranox®), du Méthanol ou de l'eau déionisée/triple distillée certifiée sans PFAS,
Echantillonnage et contenants	PTFE, y compris le téflon, PVDF, PCTFE, ETFE, FEP, LDPE, bouteille en verre. <i>Attention aux pompes, aux échantillonneurs automatique, aux seaux et aux perches utilisés).</i>	PVS, PEHD, PP, PE, nylon, acier inoxydable, silicone. (<i>Attention aux couvercles, joints des flacons</i>).
Conservation, stockage et expédition	Bloc de glace chimique. Les échantillons ne doivent pas être exposés directement aux pains de glace.	- Placer les échantillons dans des doubles emballage (ex : Ziploc), - Bloc de glace ordinaire, - Conservation à T° ≤ 6°C (-20°C pour une plus longue conservation), - Extraction en moins de 14 jours et analyse en moins de 28 jours pour éviter la transformation des PFAS dont la demi-vie est courte, ...
Équipement du personnel de terrain	- Marqueurs larges, papier résistant à l'eau et aux tâches, papier et cahier cartonné, imperméabilisé, papier adhésif (ex Post-it®, étiquettes), - Presse papier imperméable, - Gants en latex, - Vêtements imperméables traités chimiquement (ex : Gore-Tex™, catchgard™), lavés avec des adoucissants, des vêtements en matière synthétique, les vêtements neufs, - Dans les 24h avant les prélèvements : écrans solaires, insectifuges, maquillage, diffuseur anti-moustique, - Bouteilles d'eau en plastique.	- Stylo à bille, - Papier ordinaire en vrac, - Ecrire le nom de l'échantillon sur le double emballage et non sur l'échantillon, - Gants en nitrile, - Vêtements en coton ou laine, vêtement imperméables en PVC, Néoprène, ou Polyuréthane.

De nombreuses recommandations

Quelques résultats préliminaires semblent montrer que l'utilisation de matériel en PTFE n'a pas d'effet significatif sur le résultat de l'analyse.

Les recommandations qui pourraient avoir le plus grand impact sur le résultat d'analyse seraient :

- ❑ Une conservation des échantillons trop longue, à température ambiante ($\leq 6^\circ\text{C}$ pour une durée de conservation ≤ 14 jours ; congélation à -20°C au-delà préconisée.)
 - Transformation des PFAS précurseurs et des PFAS à chaîne longue en chaîne courte $\Rightarrow$ jusqu'à 50% de perte pour certains PFAS après 7j de stockage à température ambiante,
 - Sorption des PFAS sur les parois du flacon.
- ❑ L'absence de nettoyage du matériel de prélèvement entre les échantillons (ou à minima un prélèvement des zones les moins concentrées aux plus concentrées)
 - Contamination croisée inter-échantillon $\Rightarrow$ blancs,



Folorunsho et al.,
(2024).

**Et pour les sols ?
Pas encore de données**

Conclusions

Les stratégies et les techniques d'échantillonnage à mettre en place sont les mêmes que celles classiquement utilisées pour l'échantillonnage des polluants organiques et sont à adapter :

- ☐ Aux objectifs de l'étude,
- ☐ Au degré de connaissance des milieux, des activités ayant pu générer des PFAS,
- ☐ Aux spécificités liées au comportement des PFAS,

Concernant les précautions lors de l'échantillonnage :

- ☐ Les recommandations actuelles entraînent un surcoût important de l'échantillonnage et des limites techniques,
- ☐ Peu de données disponibles (aucune sur les sols) sur l'impact réel des pratiques d'échantillonnage sur les résultats d'analyse,
- ☐ Question du nettoyage du matériel de prélèvement entre chaque prélèvement => blancs.

➤ ***Souligne le besoin de mener des essais d'intercomparaison des méthodes d'échantillonnage des sols afin de rationaliser ces recommandations.***