



© Aurelia Michaud

Occurrence des composés poly- et perfluorés en sols amendés par des produits résiduaux organiques et transfert aux cultures

Parmi les contaminants organiques, les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) présents dans de très nombreux produits manufacturés sont des contaminants émergents préoccupants de par leur présence généralisée, leur stabilité chimique, leurs toxicité et transfert dans les différents compartiments de l'environnement, et de ceux-ci vers les plantes et les animaux notamment utilisés pour l'alimentation humaine. Précédemment, les niveaux de PFAS dans 47 amendements organiques provenant de 6 sites de l'observatoire SOERE PRO et couvrant une période allant de 1976 à 2018 ont été caractérisés via une collaboration entre INRAE et l'Université de Montréal. Dans le but d'évaluer les risques liés aux PFAS en contexte d'apport de PRO à l'échelle de la parcelle agricole, INRAE et l'Université de Montréal ont poursuivi les travaux pour caractériser l'occurrence de 75 PFAS dans des échantillons prélevés entre 1976 et 2018 sur 5 sites du SOERE PRO (i) de sols amendés ou non par des amendements organiques, (ii) d'eaux lixiviées dans ces sols et (iii) d'organes végétaux récoltés sur ces sols. Ces travaux ont montré une omniprésence de PFAS dans les sols (amendés ou non) en particulier dans ceux recevant des boues urbaines (plus ou moins compostées), dans les eaux de lixiviation et les cultures, avec une génération de composés anioniques mobiles à chaîne courte dans les sols et le transfert de ceux-ci dans les eaux de lixiviation du sol et les cultures. Par ailleurs, l'omniprésence de PFAS dans les sols non-amendés, les eaux du sol et les cultures, à des niveaux de concentrations plus faible (bruits de fond), suggère que d'autres sources de PFAS existent en dehors de certains amendements organiques.

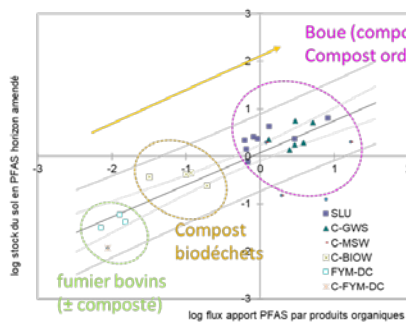
CONTEXTE ET ENJEUX

Les sols agricoles sont soumis à une contamination diffuse par les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) via les retombées atmosphériques et du fait de leur présence dans certains intrants, engendrant ensuite un risque de transfert dans l'alimentation (Buck et al. 2011, OECD 2021, Evich et al 2022, Bolan et al. 2021, Bonato et al. 2025). Évaluer l'état de contamination des sols agricoles par ces composés et estimer les niveaux de transferts vers les cultures et les eaux du sol est considéré comme un enjeu sanitaire et environnemental, d'autant plus critique du fait de la toxicité et de l'écotoxicité de certains PFAS (ex. PFOS, PFOA), et du manque de connaissances aujourd'hui disponibles (Gowdin Peter et Lee 2025).

Notre précédente étude conduite par Munoz et al. (2022), qui avait pour objectif de caractériser les niveaux et les profils de contamination de 44 PFAS dans une quarantaine de produits résiduaux organiques (PRO), a mis en évidence une omniprésence de PFAS dans les PRO étudiés, avec des niveaux de PFAS de 2 ordres de grandeur supérieurs dans les produits urbains que dans les effluents d'élevage. Ces résultats ont mis en évidence que le recyclage des PRO pouvait représenter un risque de contamination des parcelles amendées et confirmé la contamination en PFAS de certaines boues urbaines (Sepulvado et al. 2011, Rankin et al. 2016, Pepper et al. 2021, Röhler et al. 2023). Les présents travaux avaient ainsi pour objectif d'évaluer les risques liés aux composés PFAS en contexte d'apports de PRO et d'évaluer le niveau de contamination des parcelles agricoles amendées ou non par des PRO.

RÉSULTATS

Les résultats obtenus en collaboration avec l'Université de Montréal montrent une omniprésence de PFAS dans des sols agricoles amendés ou non avec la somme de 75 PFAS allant de niveaux à 1 µg/kg dans les sols amendés avec du fumier de bovins et non amendés, 2 µg/kg dans des sols amendés par des composts de biodéchets, jusqu'à 20 µg/kg dans des sols amendés par des boues urbaines. Les flux apportés par les PRO sont significativement liés à l'augmentation des stocks de 75 PFAS des sols, les sols amendés par des boues urbaines présentant les stocks plus élevés (Cf Figure). Ces travaux suggèrent aussi une formation temporelle d'acides perfluoroalkyles (PFAAs) comme le PFOA (Perfluorooctanoic acid), le PFHxA (Perfluorohexanoic acid), le PFPeA (Perfluoropentanoic acid), le PFPrA (Perfluoropropanoic acid) ou le PFBA (Perfluorobutanoic acid), à partir de précurseurs apportés par les PRO, avec leur lixiviation dans le profil de sol gouvernée par leur longueur de chaîne et le pH de la solution. Nos travaux mettent aussi en évidence une omniprésence de PFAS dans les organes récoltés des cultures étudiées (blé, maïs, canne à sucre) avec des niveaux relativement bas (0.01-2.5 µg/kg) sans effet des apports de PRO ou de l'augmentation des PFAS dans les sols. Les composés majoritairement retrouvés dans les végétaux sont le PFBA, le PFOA et le PFOS (Perfluorooctane sulfonate), comptant pour 64-80 %, 14-16 % et 6-13 % des sommes de 75 PFAS, respectivement. Nos travaux suggèrent que l'apport de PRO contenant des précurseurs de PFAAs seraient des contributeurs pour la contamination des sols et des eaux de lixiviation, sans engendrer d'augmentation du risque de contamination des cultures.



Relation entre l'évolution des stocks de PFAS dans les sols et les flux apportés de PFAS par les différents types de PRO par épandage, avec une augmentation significative des stocks de PFAS dans l'horizon de surface des sols en lien avec l'augmentation des flux de PFAS apportés par les PRO comme suit : fumier de bovins (FYM-DC) < compost de biodéchets (C-BIOW) < boue urbaine (SLU) < compost de boue urbaine (C-GWS) < compost d'ordure ménagère résiduelle (C-MSW) (Source Michaud et al., 2025)

PERSPECTIVES

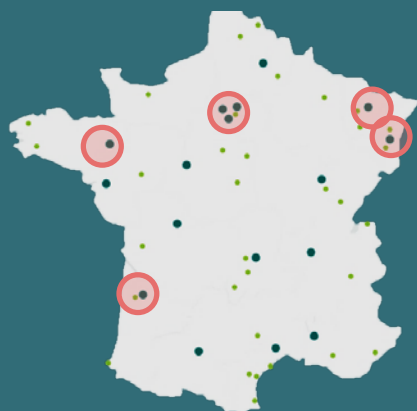
Une évaluation prospective de la présence et de la dynamique des PFAS dans divers agroécosystèmes est nécessaire, avec l'identification des sources majoritaires de contamination. En réponse à ce constat, plusieurs projets portés par INRAE démarrent en 2025/2026 afin d'étudier les niveaux et dynamiques de contamination en PFAS (i) dans divers bassins versants de Bretagne (SAS - AELB/collectivités, Coord. A. Michaud), (ii) en cas d'apport agricole de boues et de composts de boues (EcoSys, LAE, SAS - AERM, Coord. P. Benoit) et (iii) dans divers agroécosystèmes et les transferts aux cultures et aux eaux du sol (EMMAH, SAS, EcoSys, LBE - ANR FLUORAGRO, Coord. E. Michel).

VALORISATION

2 publications scientifiques : [Michaud et al. 2025](#) ; [Saliu et al. 2025](#)
3 communications orales : [Sauvé et al. 2023](#) ; [Michaud et Sauvé 2024](#) ; [Benoit et al. 2025](#)
2 webinaires : [Michaud et Sauvé 2025](#) ; [Michaud 2025](#)
1 dataverse : [Michaud et al. 2024](#)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- > Michaud A.M., Saliu T.D., Munoz G., Feder F., Sappin-Didier V., Watteau F., Houot S., Sauvé S., 2025. In situ occurrence and mobility of per and polyfluoroalkyl substances in soils amended with organic waste products. Science of the Total Environment 984, 179708. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179708>
- > Saliu T.D., Michaud A.M., Munoz G., Dinh Q.T., Feder F., Arrouy L., Sappin-Didier V., Watteau F., Houot S., Liu J., Sauvé S., 2025. Influence of organic waste amendments on uptake of per and polyfluoroalkyl substances from soil to crops: Insights from long-term field experiments. Science of the Total Environment 996, 180156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180156>



Contact : Aurélia Michaud

Unité : [UMR SAS](#), [UMR ECOSYS](#), [UMR LSE](#), [UMR ISPA](#), [UEAV](#)

Département : AgroEcoSystem, BAP

Centre INRAE : Bretagne-Normandie, Ile-de-France - Versailles-Saclay, Grand-Est - Nancy - Colmar, Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

Mots clés : composés perfluorés, contaminant émergent, observatoire, produits résiduels organiques, eau du sol, sol, culture