Sols, fonctions et transition
7 au 11 juillet 2025
Genève

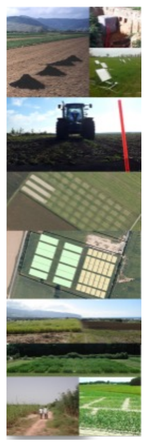
Association Française pour l'étude du sol

bgs ssp Société Suisse de Pédologie

Hes·so Genève
Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Contaminants organiques émergents dans les sols amendés par des produits résiduaires organiques – Apport des sites longue durée du SOERE-PRO pour l'évaluation des risques.



Le SOERE-PRO est un observatoire de recherche en environnement composé de dispositifs expérimentaux au champ de longue durée étudiant les effets agronomiques et les potentiels risques du retour au sol de Produits Résiduaires Organiques (PRO).

Labellisé en 2011 et 2015 par ALLENVI, et en 2018 en tant qu'Infrastructure Scientifique Collective (ISC) par INRAE.

P. Benoit[1], M. Deschamps[1], C-S. Haudin[1], A. Spaudo[1,2], D. Patureau[3], G. Colombini[4], M-F. Dignac[4], A. Michaud[5], G. Munoz[6], S. Sauvé[6], F. Watteau[7], F. Feder[2], M. Bravin[2], T. Morvan[5], C. Resseguier[1], M. Gilles[8], C. Montagnier[1], F. Levavasseur[1], S Houot[1]. Contact : pierre.benoit@inrae.fr

[1] INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, EcoSys, 91120 Palaiseau
[2] CIRAD, Recyclage et risque, 34398 Montpellier
[3] INRAE, Université Montpellier, LBE, 11100 Narbonne
[4] INRAE, IRD, CNRS, IEES, 75005 Paris
[5] INRAE, Institut Agro, SAS, 35000 Rennes
[6] Université de Montréal, Département de Chimie, Montréal, Québec H2 V 0B3, Canada
[7] Université de Lorraine, ENSAIA, INRAE, LSE, 54000 Nancy
[8] INRAE, Unité d'expérimentation agronomique et viticole, 68000 Colmar

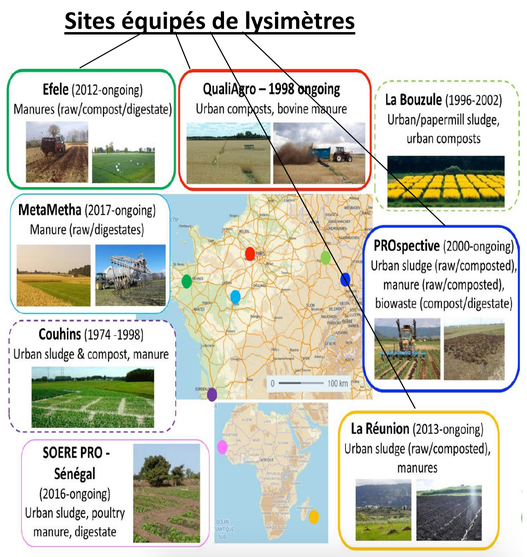
SOERE-PRO

Contextes et enjeux

Le retour au sol des matières amendantes et/ou fertilisantes issues de déchets ou PRO (produits résiduaires organiques) permet le recyclage des nutriments et des matières organiques qu'ils contiennent participant ainsi à l'économie circulaire des territoires en se substituant aux engrais minéraux (N, P, K). Ces matières participent à l'entretien des stocks de matière organique (MO) des sols et contribuent ainsi à leur fertilité et à l'atténuation du changement climatique. Ces matières peuvent aussi être vectrices de contaminants susceptibles de s'accumuler, d'être transférés vers les autres compartiments des agrosystèmes, y compris vers l'air. Sur la question des contaminants organiques émergents, les travaux les plus récents concernent les résidus médicamenteux, les microplastiques et les composés perfluorés (PFAS).

Questions et objectifs de recherche

- Quantifier les flux entrants et sortants in situ de pratiques réalistes
- Optimiser l'élimination des contaminants au cours des procédés de traitement (toxicité, produits de transformation)
- Evaluer les transferts des contaminants organiques et de leurs produits de transformation dans l'environnement
- Quantifier les impacts possibles sur la qualité des productions agricoles, des ressources sol, eau, et de l'air et sur les fonctions assurées par les agroécosystèmes
- Tester des modèles et des scénarios sur le long terme



Description des sites

Type de PRO	Type de sol	Type de végétation	Climat	Localisation	Récupération des données
Composts urbains (boues, biodéchets, ordures ménagères) Fumier	Luvisol	Maïs ou céréale	Océanique	QUALIAGRO Feucherolles (78)	Analyses PRO, sols, végétaux, émission GES Analyses des eaux collectées in situ Données capteurs TDR, Température sol, météo sur serveur FTP
Boue urbaine (brute/compostée), Fumier (brut/composté) Biodéchets (compost/digestat)	Calcosol	Maïs/blé	Continental	PROspective Colmar (68)	Analyses PRO, sols, végétaux, émission GES Analyses des eaux collectées collectées in situ Données capteurs TDR, Température sol, météo sur serveur FTP
Effluents d'élevage (brut/compost/ digestat)	Luvisol-Redoxisol	Céréale/couverts	Océanique	EFELE Rennes (35)	Analyses PRO, sols, végétaux, émission GES Analyses des eaux collectées in situ Données capteurs TDR, Température sol, météo sur serveur FTP
Boue urbaine, Effluents d'élevage	Nitisol	Canne à Sucre	Tropical	LAMARE La Réunion (97)	Analyses PRO, sols, végétaux, émission GES Analyses des eaux collectées in situ Données capteurs TDR, Température sol, météo sur serveur FTP

Résidus médicamenteux

Résidus de médicaments dans les PRO

PROs	Composés les plus concentrés	Concentrations maximales	Flux moyen / épandage
Boues et composts de boue	- Antibiotiques (fluoroquinolones) - Bactéricide	Quelques mg/kg MS	Jusqu'à 10 g/ha
Autres composts d'origine urbaine	Anti-inflammatoires	Quelques mg/kg MS	Jusqu'à 16 g/ha
Effluents d'élevage	Antibiotiques	< 50 µg/kg MS sauf doxycycline dans lisier : quelques mg/L	Jusqu'à 300 µg/ha Jusqu'à 120 g/ha

- ✓ Concentrations variables selon molécules et PROs (origine et traitement)
- ✓ Certains composés recherchés ne sont pas pas détectés/quantifiés
- ✓ Variations interannuelles

Résidus de médicaments dans les sols amendés (horizon de labour)

Composés \ DT_{50} (jours)	QualiAgro	ProSpective	La Réunion
Fluroroquinolones	1500 - 2500	750 - 1900	100 - 350
Tétracyclines			80 - 120
Carbamazépine	900	500 - 900	250 - 900
Anti-inflammatoire	150 - 1000		

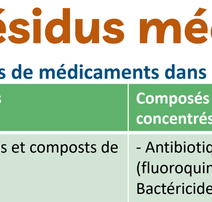
Estimation des demi-vies (DT_{50}) $_{champ}$ à partir des mesures dans le sol et des estimations des flux entrants

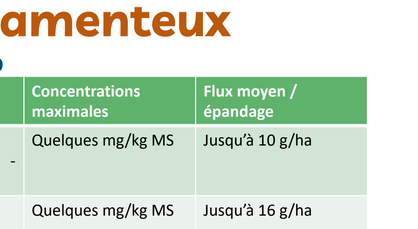
Résidus de médicaments dans l'eau du sol collectée à -50 cm

	Nb échantillons	Composés	Fréq. détection	Fréq. Quanti.	Conc. (composés quantifiés)
QualiAgro	276	Carbamazépine Ibuprofène Autres	23 % 17 % 0 à 8 %	1 % 5 % 0 à 1 %	~ 0,02 µg/L à 0,27 µg/L (4 fois)
Pro'Spective	36	Carbamazépine Ofloxacine Autres	25 % 19 % 0 à 6 %	3 % 0 % 0 %	0,01 µg/L (1 fois)
Comparaison littérature	*Topp 2008, Edwards 2009, Sabourin 2009*			Très faible	Très faible à faible

Deschamps et al., 2017 - STOTEN

Biodisponibilité pour les plantes et mesures des facteurs de bioconcentration





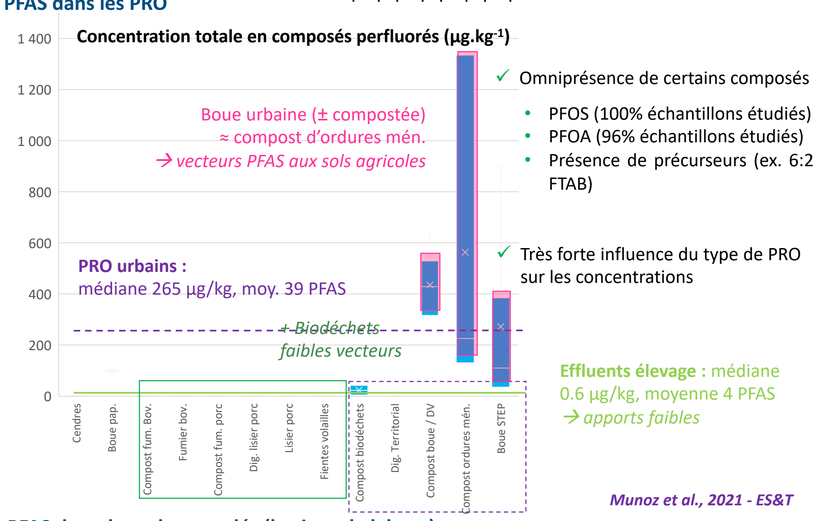
- ✓ Adaptation du RHIZOtest®
- ✓ ^{14}C-Sulfamethoxazole (SMX) ; ^{14}C-Ciprofloxacine (CIP)

Haudin et al., 2021 – Rapport INRAE

PFAS

Université de Montréal

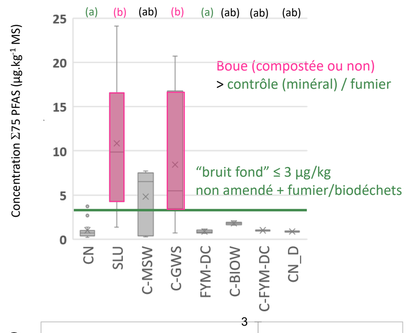
PFAS dans les PRO



- ✓ Omniprésence de certains composés
  - PFOS (100% échantillons étudiés)
  - PFOA (96% échantillons étudiés)
  - Présence de précurseurs (ex. 6:2 FTAB)
- ✓ Très forte influence du type de PRO sur les concentrations

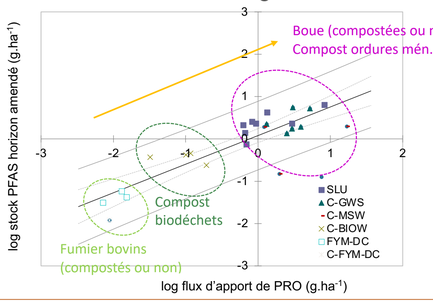
Munoz et al., 2021 - ES&T

PFAS dans les sols amendés (horizon de labour)



CN = contrôle, fertilisation minérale
CN_D = contrôle avec digestat de biodéchets
SLU = boue urbaine
C-MSW = compost ordures ménagères résiduelles
C-GWS = compost boue urb. et déchets verts
C-BIOW = compost biodéchets
FYM-DC = fumier de bovins
C-FYM-DC = compost fumier bovins

- ✓ Présence dans tous les sols amendés par des PRO
- ✓ Niveaux de conc. bien en dessous de ceux de sites contaminés (jusqu'à 500 µg/kg MS)

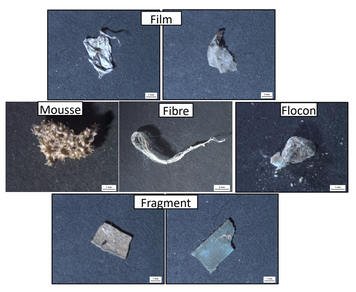


- ✓ Stocks en lien direct avec les flux apportés par les différents types de PRO
  - PFOA, PFOS ≈ 50% stocks estimés
  - Produits dégradation retrouvés majoritairement des PFCA et PFSA

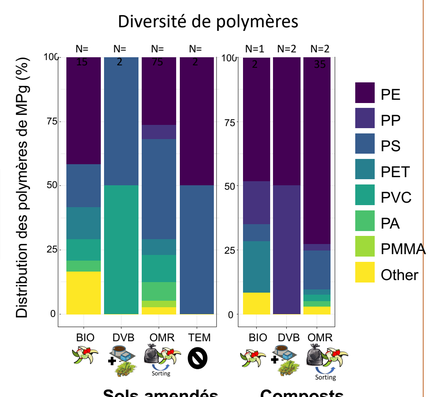
Michaud et al., 2025 - STOTEN

Microplastiques

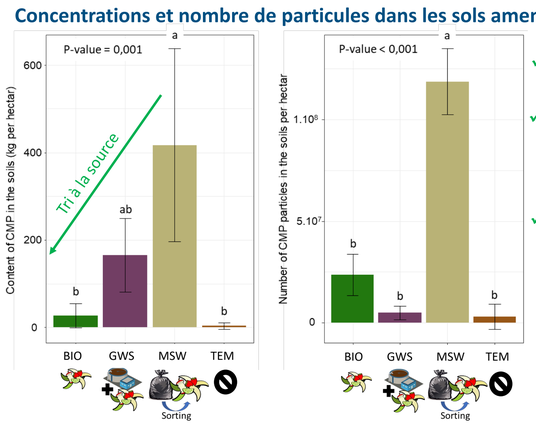
ADEME 2022-2024
ANR 2022-2025



Diversité de « morphotypes »



Concentrations et nombre de particules dans les sols amendés (horizon de labour)



- ✓ Peu de MPg dans les sols témoins (TEM)
- ✓ Effet du type de compost sur la masse & le nombre de particules de MPg dans les sols
- ✓ 45 ans d'amendement : 417 kg de MPg / ha (MSW)

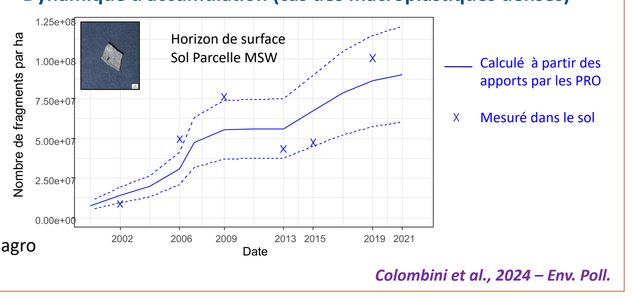
Ou

> 80 000 / ha > 1400 / ha

Colombini et al., 2022 – Env. Poll.

Dynamique d'accumulation (cas des macroplastiques denses)

Echantillothèque de Qualiagro De 1998 à 2025



Colombini et al., 2024 – Env. Poll.

Conclusion

Ces nouvelles références sont indispensables pour évaluer les risques pour la santé humaine et environnementale liés à ces pratiques de fertilisation organique. Elles démontrent l'importance des filières de traitement pour réduire la présence de contaminants dans les PRO – le tri à la source est efficace pour réduire les PFAS et les microplastiques dans les composts de biodéchets.

Les besoins de recherche concernent :

- la caractérisation des dynamiques (accumulation, produits de transformation, transfert vers la chaine alimentaire, dispersion atmosphérique par érosion éolienne) sur les temps longs (décennies, siècles)
- la compréhension des processus contrôlant la biodisponibilité pour les plantes et l'exposition des organismes vivants y compris l'homme
- la modélisation et l'intégration dans une évaluation des impacts à l'échelle des filières de recyclage

Le SOERE PRO est un service d'ANAEE, parmi d'autres services proposés tous dédiés à la compréhension et modélisation des processus au sein des écosystèmes. C'est une structure ouverte pour accueillir des programmes de recherche (ANR, ADEME EJP Soil, PSDR…), la formation d'étudiants (masters, doctorats) et post-doctorats

INRAE AgroParisTech Université Paris-Saclay

cirad La recherche agronomique pour le développement

AnaEE France