



- Assemblée Générale du SOERE PRO -

16 juin 2017, Paris
(AgroParisTech, Rue Claude Bernard, Amphithéâtre Tisserand)

9h30. Accueil café

10h – 11h. Principales informations 2017 – Informations sur les sites du SOERE PRO, Valor PRO, système d'information, ANAEE, ALLENI : **Michaud A, Houot S**

11h – 12h30. Conférence invité et présentations

The role of colloidal transport on phosphate leaching and effects of organic matter application history, **Smolders E**, Amery F, Vanden Nest T, Verbeeck M, Warrinier R (11h – 11h30)

Mesures du protoxyde d'azote (N₂O) et du dioxyde de carbone (CO₂), gaz à effet de serre, sur le site du SOERE PRO à la Réunion : évolution du dispositif et résultats de l'année en cours, Feder F, **Paillat JM**, Simon E, Versini A (11h30 – 11h50)

L'effet de l'apport couplé de résidus de coupe de canne à sucre et de PRO, sur la dynamique de décomposition du paillis et les émissions de gaz à effet de serre, **Kyulavski V**, Recous S, Garnier P, Paillat JM, Thuries L (11h50 – 12h10)

Influence du type de sol sur la réponse des communautés microbiennes suite à un apport de PRO de qualité donné, **Bourgeteau-Sadet S**, Houot S, Nowak V, Mathieu O, Mercier V, Maron PA (12h10 – 12h30)

12h30 – 14h. Repas

14h – 16h. Conférence invité et présentations

Devenir environnemental des contaminants émergents, **Sauvé S**, Sollic M et Munoz G (14h – 14h30)

Effets d'apports répétés de PROs au champ sur les teneurs en composés pharmaceutiques dans les sols et risques écotoxicologiques associés, **Bourdat-Deschamps M**, Ferhi S, Bernet N, Feder F, Crouzet O, Patureau D, Montenach D, Moussard G, Mercier V, Benoit P, Houot S (14h30 – 14h50)

Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : une expérimentation en serre, **Martin T**, Houot S, Levavasseur F, Esculier F (14h50 – 15h10)

Prédiction au laboratoire de la dynamique du carbone des PRO au champ : application sur QualiAgro et perspectives d'utilisation, Germain M, **Levavasseur F**, Duparque A, Mouny JC, Mary B, Clivot H, Houot S (15h10 – 15h40)

Conclusions



- Sites du SOERE PRO -

QualiAgro - 1998, 6 ha
Composts urbains, fumier
Conduite biologique
Céréales/luzerne

La Bouzule - 1996
Boues urbaines, composts...
Arrêt épandages → Résilience
Maïs-blé-colza

EFELE - 2012, 2,3 ha
Effluents d'élevage
(bruts, compostés, digérés)
Blé-maïs/CIPAN



PRO'spective - 2000, 2 ha
Boues, fumier, biodéchets
(compostés, non compostés)
Blé-maïs-orge-betterave suc.

Couhins - 1974
Boues et fumiers
Arrêt épandages → Résilience
Maïs-pomme de terre-laitue-blé



la Réunion - 2013
Boues, fientes...
Canne à sucre

Sénégal - 2016
Boue, digestat, litière volailles
Maraîchage



Gampéla - 2007
Burkina Faso
Déchets urbains compostés
(apport localisé / parcelle)
Sorgho

Without MSW With MSW



Sites observations détaillées, instrumentés
Sites historiques, peu/pas instrumentés

Résumés

Principales informations 2017	7
Mesures du protoxyde d'azote (N₂O) et du dioxyde de carbone (CO₂), gaz à effet de serre, sur le site du SOERE PRO à la Réunion : évolution du dispositif et résultats de l'année en cours.....	9
L'effet de l'apport couplé de résidus de coupe de canne à sucre et de PRO, sur la dynamique de décomposition du paillis et les émissions de gaz à effet de serre.....	10
Influence du type de sol sur la réponse des communautés microbiennes suite à un apport de PRO de qualité donné.....	11
Analyse et devenir environnemental des antibiotiques vétérinaires dans des sols agricoles et les eaux de drainage	12
Effets d'apports répétés de PROs au champ sur les teneurs en composés pharmaceutiques dans les sols et risques écotoxicologiques associés	13
Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : une expérimentation en serre	15
Prédiction au laboratoire de la dynamique du carbone des PRO au champ : application sur QualiAgro et perspectives d'utilisation.....	16

Principales informations 2017

Michaud A¹, Houot S¹

¹ UMR ECOSYS, INRA, Thiverval Grignon, France

Les principales activités et les faits marquants du SOERE PRO en 2017 sont résumés ci-dessous.

Evolution du réseau :

- Nouveau site créé au Sénégal, piloté par le CIRAD en cultures maraîchères, où, en plus du suivi classique, met l'accent sur les interactions entre fertilisation organique et sensibilité aux bioagresseurs des cultures maraîchères.

Actions Scientifiques :

- 9 Publications scientifiques (rang A) et 11 communications dans des congrès portées par des membres du SOERE-PRO ou utilisant le SOERE PRO. A noter, des publications portant sur plusieurs sites du SOERE-PRO (Bourdat-Deschamps et al., 2017), des « méta-analyses » des effets d'apports de PRO sur les propriétés physiques des sols (Eden et al., 2017), des mesures innovantes (COV dans le site EFELE, Potard et al., 2017), utilisation des sites pour diverses approches de modélisation.

- 8 Projets scientifiques en cours valorisant les sites du SOERE-PRO (Tableau 3). A noter la diversité des contextes et financements : ANR, ADEME, H2020, Casdar, PSDR. Les conventions récurrentes permettant de financer le fonctionnement de base des sites n'ont pas été rappelées (Veolia pour Qualiagro et La Réunion, ADEME pour EFELE, Pluripartenariat pour PROspective).

- Démarrage de projets portant sur la gestion territoriale de PRO impliquant le SOERE-PRO : (PSDR PROleg, ADEME GRAINE .PROterr)

- Projets ANR visant à analyser les interactions entre contaminants et effets ecotox et résistance aux antibiotiques (CEMABS, DIGESTATE)

- Projets visant à développer des indicateurs de qualité biologique des sols ou des classes de qualité de sol : Microbioterre, LandMark (H2020)

- 3 soutenances de thèse ayant utilisé un site du SOERE PRO : Anaïs Goulas et K.Brimo (site Qualiagro), Cécile Nobile (La Réunion).

Animation :

- SOERE PRO : organisation de l'assemblée générale annuelle couplée à une journée réunissant le directoire scientifique (DS) et le comité technique (CT) (les 15 et 16 juin 2017). 2 invités extérieurs au SOERE PRO ont présenté leurs travaux sur la dynamique du phosphore (E Smolders, Univ. Leuven) et les contaminants émergents et perfluorés (S Sauvé, Univ. Montréal).

- SOERE PRO : organisation de 2 journées de réunion en décembre 2017 sur les jeux de données SOERE PRO (bilan des jeux de données SOERE PRO, aspects juridiques, analyses des résultats obtenus entre sites, insertion dans le système d'information et diffusion sur le site web).

Communication :

- Validation par l'INRA de la diffusion du site web du SOERE-PRO, Valor PRO (mai 2017) : (1) renseignement de la partie site web (ex. <http://www6.inra.fr/valor-pro/SOERE-PRO-presentation>), (2) veille scientifique et de presse et élaboration (7 bulletins édités depuis 1 an).

Système d'information :

- Données de physico-chimie des PRO, sols, plante : développement des insertions/extraction, de la gestion des échantillons, développement de fichier contenant des macro xls pour faciliter les insertions, tests.

- Données de d'itinéraires techniques : développement des insertions/extractions, développement de fichier contenant des macro pour faciliter les insertions.

- Formatage des données : début de formatage des données à insérer pour les sols/PRO de QualiAgro et Colmar (insertions effectives courant 2018).

Conduite et suivis des sites :

- PROspective : 3^{ème} année depuis la réorientation du protocole avec fertilisation optimale exclusivement organique basée sur la disponibilité de l'azote des PRO, avec l'apport de digestats en compléments des PRO étudiés, mise en place d'une CIPAN en culture intermédiaire piège à nitrates (moutarde). Les rendements sont au moins équivalents à une fertilisation minérale classique, bonne estimation de la disponibilité de l'azote des PRO. 2 publications scientifiques issues des travaux conduits sur Colmar.

- EFELE : 6^{ème} année du site, participation du site au projet EU Soil Man pour l'essai TS/MO (travail simplifié x apport de matière organique), l'objectif du projet est d'étudier les liens entre les principaux déterminants des pratiques agricoles et la biodiversité fonctionnelle, avec évaluation des services écosystémiques. Au niveau scientifique suivi de l'empreinte stanol dans les sols post-épandages de PRO avec le bilan sur 2013-2016. 3^{ème} année de thèse de K. Potard sur la dynamique d'émission des COV (thèse Ecobio Rennes et IPR), 3 stages (licence, master) en lien avec EFELE, 1 article scientifique et 1 communication orale.

- QualiAgro : départ de V Mercier (AI gestionnaire du site) et reprise des missions de gestion du site et des capteurs par C Resseguier (arrivée au 01/09/2017), et suite au départ en retraite de JN Rampon, son remplacement pour les missions de gestion des cultures, Jean-Christophe Gueudet est recruté en concours interne pour le remplacer. A noter également l'arrivée de Pauline Buysse (IR recrutée en 2017) pour assurer la coordination des sites expérimentaux de l'unité ECOSYS. 4^{ème} année en agriculture biologique (sans apports d'engrais minéraux et sans pesticides) avec culture de luzerne et d'orge, 11^{ème} épandage des PRO en septembre. 5 articles scientifiques issus des travaux conduits sur QualiAgro.

- SOERE PRO - Réunion : 5^{ème} année du site, modification du traitement Boue apportée à la replantation (tous les 4 ans) pour apporter un compost de boue. La dégradation de la boue semble relativement lente. Traitement et valorisation des mesures d'ammoniac réalisées depuis 2014 (stage S Kemmou). Définition pour les prochaines campagnes d'épandage, d'une nouvelle stratégie pour le positionnement des capteurs et des dates des épandages des différentes modalités. Nombreuses actions de communications (journaux, reportages...), plusieurs visites du site (AFD, délégation Sri Lanka, mairie de la Possession), poursuite et finalisation de 2 thèses (C Nobile, disponibilité du phosphore ; V Kyulavski, dynamiques C et N des mélanges de PRO et paillis de canne), stage de D Poultney et HB El Bouhali. Acquisition de 6 nouvelles enceintes de suivis des émissions de GES pour compléter les traitements étudiés. Un ingénieur CIRAD (Charles Détaille) est recruté en 2017 en CDI pour gérer le site et les données.

- Couhins : Poursuite du site en jachère, prélèvement de végétaux et de sols sur l'essai Ambarès. Un essai circulaire international pour valider le test « OMEGA 3 » est en cours actuellement en utilisant Couhins (composition en acides gras foliaires des plantes pour évaluer la qualité d'un sol), avec un projet de norme ISO.

- La Bouzule : Poursuite du site en résilience, avec entretien des parcelles et du suivi analytique, mise en place de panneaux pour délimiter le site.

- Gampéla : Les suivis de rendements de la culture du sorgho et des prélèvements de sol sont effectués tous les ans. Les traitements avec apport de composts issus d'un mélange initial composite, déchets de cuisine, d'abattoirs et de déchets verts semblent se différencier des autres traitements. Quels que soient les traitements, une perte en carbone est observée dans le sol que l'apport de composts ne permet pas de reconstituer tout en étant à des niveaux plus élevés que les témoins. Après 10 années d'observations, un bilan complet sur les propriétés des sols et les productions devra être réalisé. Au-delà, la question du maintien du site se pose, y compris dans le SOERE PRO.

- SOERE PRO – Sénégal : 2^{ème} année du site conduit en maraîchage irrigué, avec les premières cultures de tomates, laitue et de carottes. Visite de ministres français et sénégalais de l'agriculture, visite du directeur départemental du CIRAD, visite de la direction de l'UMR Eco&Sols, premier comité de pilotage de la thèse de F Diallo, démarrage de la thèse de HK Brou (projet digestate).

Mesures du protoxyde d'azote (N₂O) et du dioxyde de carbone (CO₂), gaz à effet de serre, sur le site du SOERE PRO à la Réunion : évolution du dispositif et résultats de l'année en cours

Feder F¹, Paillat JM¹, Simon E¹, Versini A¹

¹CIRAD, UPR « recyclage et risque », Saint-Denis, Réunion.

Mots clefs : protoxyde d'azote (N₂O) ; dioxyde de carbone (CO₂) ; boues de Step ; lisier de porc ; litière de volaille.

Les épandages de fertilisants organiques et minéraux génèrent des émissions de gaz à effets de serre tels que le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂). Depuis 2015, les sites d'observation détaillés et instrumentés du Soere Pro de QualiAgro, EFELE, PRO'spectives et Réunion sont équipés de chambres de mesure de gaz automatisées permettant de suivre, en semi-continu, les émissions de N₂O et de CO₂. Depuis mi-2016, le site Réunion a doublé son nombre d'enceinte. Désormais, trois enceintes sont disposées sur chacune des modalités suivantes : boues de Step (BA), lisier de porc (LP), litière de volaille (LV) et témoin (T, fertilisation minérale). Seule la modalité compost de boue (CB) n'est pas instrumentée. Toutes les modalités sont épandues décalées d'une à deux semaines afin que les différentes émissions gazeuses initiales, notamment la volatilisation d'ammoniac, soient correctement identifiables. L'ordre des épandages est actuellement le suivant : lisier de porc, boue de Step, engrais minéraux, litière de volaille et compost de boues. Ces deux dernières modalités ne sont apportées qu'une année sur quatre. Ensuite, une complémentation minérale est apportée afin d'équilibrer la fertilisation et d'obtenir un rendement semblable pour toutes les modalités.

Pour chaque modalité, à court terme après les épandages, les émissions de N₂O et de CO₂ ne présentent pas de différences significatives. En revanche, au fur et à mesure, les émissions cumulées divergent tant pour le N₂O que pour le CO₂.

Si le décalage dans le temps des différents apports semble être une précaution utile pour éviter les fortes interactions juste après l'épandage, la complémentation minérale en azote pourrait limiter la possibilité d'établir des facteurs d'émission propres à chaque fertilisant. Une possibilité serait de ne pas compléter les surfaces (i.e. l'intérieur des enceintes) sur lesquelles les émissions de gaz sont mesurées. Dans une telle situation, nous mesurerions les émissions de N₂O et de CO₂ correspondant réellement et uniquement au Pro considéré ou à l'engrais minéral. Néanmoins, ce serait faire fi des pratiques agronomiques réelles et nous ne serions alors plus en mesure d'établir des bilans cumulés d'émissions comparables entre modalités réelles (Pro + compléments).

Contact : frederic.feder@cirad.fr

Travail réalisé dans le cadre d'un accord de partenariat avec VEOLIA-EAU

L'effet de l'apport couplé de résidus de coupe de canne à sucre et de PRO, sur la dynamique de décomposition du paillis et les émissions de gaz à effet de serre

Kyulavski V^{1,4,5}, Recous S³, Garnier P⁴, Paillat JM², Thuriès L¹

¹ CIRAD, UPR Recyclage et Risque, Saint-Denis La Réunion, France

² CIRAD, UPR Recyclage et Risque, Montpellier, France

³ INRA-Université de Reims, UMR FARE, Reims, France

⁴ INRA-AgroParisTech, UMR1402 EcoSys, F-78850 Thiverval-Grignon, France

⁵ ADEME, Angers, France

Mots-clés : Décomposition au champ, Gaz à effet de serre, Paillis de canne à sucre, Produits résiduaux organiques, Apports couplés, Matière organique

L'utilisation de produits résiduaux organiques (PRO) en substitution d'engrais minéraux est encouragée, afin de préserver la fertilité des sols, en valorisant des matières organiques, autrement considérées comme des déchets. La valorisation des PRO au champ contribue au bouclage des cycles biogéochimiques à une échelle souvent locale, selon une logique d'économie circulaire. Dans les régions tropicales, la canne à sucre est un bon candidat à la fertilisation par les PRO. Lors de la récolte de la canne à sucre, une partie de la biomasse est souvent laissée au sol, formant un paillis qui se décompose durant le cycle cultural et qui peut donc être associé aux PRO. L'impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) des sols, à la fois recouvert d'un paillis et recevant des PRO, a été peu étudié dans la littérature.

Nous avons mesuré le taux de décomposition du paillis, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et d'oxyde nitreux (N₂O) sur le site du SOERE PRO à la Réunion, après l'apport de lisier de porc (LP), de boues de station d'épuration (BA) et de l'urée (U). D'autre part, nous avons appliqué deux niveaux de paillis : 10 t MS ha⁻¹, pour LP, BA et U ; et 5 t MS ha⁻¹ (0.5) pour LP et U, formant ainsi 5 modalités : LP, BA, U, U0.5 et LP0.5.

Indépendamment, afin d'investiguer les éventuelles interactions entre les PRO et la paille lors d'un apport couplé, nous avons effectué des incubations en conditions contrôlées sur 180 jours. Nous avons mesuré le potentiel de minéralisation du C et du N pour les 3 matières organiques seules, paille (P_i), boue de station d'épuration (BA_i) et lisier de porc (LP_i), ou en mélange (P-BA et P-LP).

Au champ, la vitesse de décomposition de BA (0.13 t MS ha⁻¹ j⁻¹) était deux fois supérieure, entre la deuxième et la quatrième semaine après l'apport, comparé à celles de U (0,06 t MS ha⁻¹ j⁻¹) et de LP (0.05 t MS ha⁻¹ j⁻¹). Toutefois, au jour 120, la masse sèche restante n'était pas significativement différente entre les différentes modalités. En outre, la perte de C du paillis a été proportionnelle à la quantité initiale de paillis, dans la gamme testée (5 ou 10 t MS ha⁻¹). Dans les 49 jours après fertilisation, les apports de lisier de porc ont généré le plus de GES, alors que l'apport de boues de stations d'épurations était caractérisé par les émissions les plus faibles. Les émissions de CO₂ ont doublé lors de l'application de 10 t MS ha⁻¹ de paillis et d'urée, mais cet effet de la quantité de paillis n'a pas été détecté pour les modalités avec du lisier de porc.

Les potentiels de minéralisation de C des mélanges étaient supérieurs aux potentiels de minéralisation de C des PRO seuls. Les cinétiques de minéralisation de C ont été caractérisées par une vitesse de minéralisation supérieure des PRO et des mélanges PRO-paille, comparé à la paille seule.

Les résultats obtenus au champ montrent l'impact de la forme physico-chimique des apports sur les émissions de GES, lors d'une application dans des systèmes couplés PRO-paille. Les synergies constatées dans ces systèmes couplés, lors des incubations en conditions contrôlées, sont le résultat de l'apport de N par les PRO, qui a permis une minéralisation du C plus rapide.

La substitution de l'urée par des sources organiques de N et la quantité de résidus de coupe laissés au sol lors de la culture de canne à sucre, peut affecter les émissions de GES et l'empreinte carbone de l'agroécosystème. Cette étude met en perspective le recyclage des déchets organiques à l'échelle locale et l'utilisation alternative de la biomasse, tel que le paillis de canne à sucre.

Contact : vladislav.kyulavski@cirad.fr

Influence du type de sol sur la réponse des communautés microbiennes suite à un apport de PRO de qualité donné

Sadet-Bourgeteau S¹, Houot S², Watteau F³, Sappin-Didier V⁴, Morvan T⁵, Montenach D⁶, Mathieu O⁷, Maron PA¹

¹INRA, UMR01347 Agroécologie F-21065 Dijon, France

²INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

³CNRS, Laboratoire Sols et Environnement, F-54518 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

⁴INRA, UMR ISPIA, F-33882 Villenave d'Ornon, France

⁵INRA, UMR1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

⁶INRA, F-68006 Colmar, France

⁷CNRS, UMR 6282 Biogéosciences F-21000 Dijon, France

Mots clefs : produits résiduels organiques, communauté microbienne, CO₂, N₂O

Dans un contexte agronomique, le retour au sol des déchets organiques participe au maintien du stock de carbone du sol, limitant ainsi les processus d'érosion et augmentant la productivité végétale. Toutefois, si ces apports sont mal gérés, ils peuvent avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'environnement, notamment l'émission de gaz à effet de serre. Le rôle des microorganismes du sol apparaît comme clef dans cette balance bénéfice-coût du retour au sol de la matière organique. Dans la présente étude, il est proposé d'évaluer, dans des contextes pédoclimatiques différents, l'impact d'un même apport de PRO sur l'activité et la structure de la communauté bactérienne du sol.

Pour cela, des échantillons de sols provenant de parcelles témoins (n'ayant jamais reçu d'apport de PRO) de 5 sites du SOERE-PRO (QualiAgro, Colmar, La Bouzule, Rennes et Couhins) ont été prélevés. L'expérimentation a été menée en milieu contrôlé. Pour chaque site, le sol prélevé a été traité selon trois modalités: sans apport de PRO (Témoin), avec apport de fumier de bovin (FUM), ou avec apport de compost de déchets verts et de boue d'épuration (DVB). Les apports de PRO (FUM et DVB (équivalent à 4 T C/ha)) ont été réalisés à J0. L'ensemble des microcosmes ainsi réalisés (5 sites x 3 modalités x 3 répétitions) a ensuite été mis à incuber (20°C) pendant 28 jours. Pour chaque microcosme, des prélèvements de gaz ont été effectués à J0, J3, J7, J14, J21 et J28. Le CO₂ et N₂O produit ont été mesurés par Chromatographie en phase gazeuse. A J0, J7 et J28, différents indicateurs de la qualité biologique des sols ont également été mesurés tel que la diversité des communautés de bactéries, appréhendée par l'analyse du métagénome (séquençage).

Les résultats obtenus montrent qu'au bout de 28 jours d'incubation, l'apport de PRO (FUM ou DVB) induit une augmentation des émissions de CO₂ et de N₂O par le sol. Concernant les émissions de CO₂, ces dernières sont plus intenses avec un apport de FUM en comparaison au DVB. Cela s'explique par le fait que le FUM contient plus de Carbone Organique (355 g/Kg de MS) que le DVB (257 g/Kg de MS). Il apparaît également que les sols issus des différents sites ne répondent pas, en termes d'émission de CO₂ et de N₂O, de façon identique à un même apport de PRO. Ceci pourrait être dû à des différences de communautés microbiennes présentes dans les sols entre les sites étudiés. En effet, nos résultats montrent qu'avant apport de PRO, les structures des communautés bactériennes des sols des cinq sites sont différentes les unes des autres. Ceci s'explique par des contextes pédoclimatiques différents et des pratiques agricoles variables. L'apport d'un même PRO induit des modifications de structure de ces communautés bactériennes différentes selon le site considéré. Ces différences observées pourraient être reliées à des activités microbiennes différentes, générant ainsi des profils d'émission de CO₂ et de N₂O différents.

Contact : s.bourgeteau-sadet@agrosupdijon.fr

Analyse et devenir environnemental des antibiotiques vétérinaires dans des sols agricoles et les eaux de drainage

Sauvé S¹, et al.

¹ Université de Montréal, Montréal, Canada

Mots clés : lisier, antibiotiques, eaux drainage

Résumé

Des analyses de lisier de porc ont démontré la présence de résidus de d'antibiotiques de la famille des tétracyclines et que ces substances persistaient dans les champs et qu'elles pouvaient migrer vers les eaux de drainage qui se déversent dans les cours d'eau environnant. De plus, l'utilisation de spectrométrie de masse à haute résolution a aussi permis d'identifier et de mesurer des sous-produits de ces tétracyclines qui apparaissent souvent à des concentrations plus élevées que les molécules parentes. Par ailleurs, on a aussi identifié et confirmer la présence de substances non-ciblées, notamment la medroxyprogestérone (hormone stéroïdiennes) et la ractopamine (un beta-agoniste – d'utilisation interdite dans plusieurs pays mais pas ici). Les travaux soulignent l'importance d'évaluer le devenir environnemental des molécules utilisées ainsi que leurs produits de transformation.

Effets d'apports répétés de PROs au champ sur les teneurs en composés pharmaceutiques dans les sols et risques écotoxicologiques associés

Bourdat-Deschamps M¹, Ferhi S¹, Bernet N¹, Feder F², Crouzet O¹, Patureau D³, Montenach D⁴, Moussard G², Mercier V¹, Benoit P¹, Houot S¹

¹ INRA, UMR ECOSYS, Thiverval-Grignon et Versailles, France

² CIRAD, UPR Recyclage et Risque, Dakar, Sénégal et La Réunion, France

³ INRA, UR LBE, Narbonne, France

⁴ INRA, UE SEAV, Colmar, France

Mots-clés : composés pharmaceutiques, produits résiduels organiques, sol, lixiviation, évaluation des risques, dissipation.

Résumé

Les médicaments humains et vétérinaires sont excrétés dans les urines et les fèces, dans des proportions variables, sous la forme de molécule mère ou de métabolites. D'autres composés organiques, contenus dans des produits de soin, peuvent également se retrouver dans les eaux usées. Dans les stations de traitement des eaux usées, ces composés peuvent être dégradés, s'adsorber sur les boues ou être rejetés dans les eaux de surface. Le recyclage des produits résiduels organiques (PRO) en agriculture est fortement encouragé pour leurs propriétés amendantes et fertilisantes. Mais ces PROs, d'origine agricole (effluents d'élevage) ou urbaine (boues d'épuration, composts d'ordures ménagères) peuvent être une voie d'entrée de contaminants, notamment des composés pharmaceutiques, dans l'environnement.

Une étude a été réalisée sur trois sites du SOERE PRO (QualiAgro, Pro'spective et La Réunion) entre 2011 et 2015. Les objectifs étaient d'obtenir des données de concentrations de 13 composés pharmaceutiques et d'un bactéricide dans les PROs épandus (12 PROs dont certains analysés sur plusieurs années), les sols recevant ces PROs (prélèvements avant et après épandage) et les eaux du sol collectées par des lysimètres à mèches. Les données obtenues ont permis des calculs de demi-vie de composés dans les sols et de réaliser une première approche d'évaluation de risques écotoxicologiques dans les sols et dans les eaux.

Les résultats montrent que les composés pharmaceutiques et le bactéricide (triclosan) sont présents à des concentrations très variables dans les PROs, de quelques microgrammes à quelques milligrammes par kilogramme de matière sèche (MS) ou milligrammes par litre pour les lisiers porcins. Les boues d'épuration, les composts de boue ou les effluents d'élevage contiennent jusqu'à neuf composés. Des antibiotiques (fluoroquinolones, doxycycline) et le triclosan sont présents aux plus fortes concentrations. Au contraire, les composts d'ordures ménagères résiduelles et les composts de biodéchets contiennent principalement des composés à usage anti-inflammatoire, provenant probablement de l'absence de tri des déchets par les usagers.

Les concentrations de composés pharmaceutiques dans des sols amendés depuis de nombreuses années restent faibles et inférieures à plusieurs microgrammes par kilogramme MS. Les composés les plus persistants (fluoroquinolones et carbamazépine) ont été quantifiés ou détectés dans les sols amendés par des boues d'épuration ou des composts de boue. Dans les sols amendés avec le compost d'ordures ménagères résiduelles, la carbamazépine a été quantifiée et les fluoroquinolones, les anti-inflammatoires (ibuprofène et diclofénac) ont été parfois détectés. La faible augmentation de concentration des fluoroquinolones et de la carbamazépine après épandage est cohérente avec les flux apportés par les PROs. En revanche, les concentrations de composés pharmaceutiques prédites à partir des concentrations dans les PROs et des doses apportées sur plusieurs années sont nettement supérieures aux concentrations retrouvées dans les sols, ce qui peut être dû à la dégradation des composés ou à leur adsorption sur des constituants du sol et/ou à leur lixiviation. Les temps de demi-vie de dissipation des composés pharmaceutiques dans les sols ont été déterminés sur les différents sites. Dans les sites tempérés, ils sont similaires ou plus élevés que ceux décrits dans la littérature.

Dans le site tropical, les temps de demi-vie des fluoroquinolones sont largement inférieurs à ceux des sites tempérés. Les risques écotoxicologiques terrestres, évalués par le calcul de facteur de risque, sont potentiellement très faibles, mais les données d'écotoxicologie terrestre pour faire ces calculs sont rares.

Dans les eaux de lixiviation, les composés pharmaceutiques sont très peu fréquemment détectés (<7%) et très rarement quantifiés (<0,5%). Les composés principalement retrouvés sont la carbamazépine ainsi que l'ibuprofène (QualiAgro) et l'ofloxacine (Pro'spective), à des concentrations très faibles, ce qui rend impossible la comparaison entre traitements. Les risques écotoxicologiques pour la bactérie modèle *V. fischeri* ont été évalués comme étant faibles.

Contact : marjolaine.deschamps@inra.fr

Valorisation des urines humaines comme source d'azote pour les plantes : une expérimentation en serre

Martin T¹, Houot S¹, Levavasseur F¹, Esculier F²

¹INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78 850 Thiverval-Grignon, France

²ENPC, UMR MA 102 LEESU, F-77 420 Champs-sur-Marne, France

Mots clefs : Techniques alternatives d'assainissement / Valorisation agronomique / Recyclage / Économie circulaire / Transition écologique / Urine

La séparation à la source des urines et matières fécales est un paradigme prometteur pour la transition énergétique et environnementale ainsi que le développement d'un métabolisme urbain durable. Aujourd'hui, le recyclage des nutriments des eaux usées est faible, seulement 4 % de l'azote et 41 % du phosphore présents dans les eaux usées de la région parisienne sont actuellement recyclés alors que la consommation en engrais azotés francilienne pourrait être couverte par les excréments de l'agglomération parisienne. Cette valorisation est notamment possible via les urines, qui comportent la majeure partie de ces nutriments (75 % de la charge en azote des eaux usées domestiques) et qui de plus, sont peu chargées en polluants. Ce projet participe au développement de filières de valorisation de produits issus de techniques alternatives d'assainissement et a pour objectif de caractériser l'intérêt agronomique des produits. Pour cela, une expérimentation en serre a été menée. Cette expérimentation en conditions contrôlées a permis de comparer l'efficacité de produits issus de techniques alternatives utilisés en tant que source d'azote pour les plantes, en comparaison à un engrais minéral, un lisier bovin et un compost de déchets verts. Nous avons pu démontrer dans les conditions précises de l'expérimentation que l'efficacité des urines brutes ou traitées (nitrifiées et concentrées) est proche de celle de l'engrais minéral, et est bien supérieure à celle d'un engrais organique classique (lisier bovin). L'efficacité du mélange compost et urine est légèrement moindre du fait d'une organisation de l'azote minéral de l'urine, mais reste très bonne en plus d'être un bon amendement pour les sols. Nous concluons que les PRO à base d'urine sont une solution prometteuse en substitution aux engrais minéraux en agriculture, et qui permettrait également des diminutions des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (au niveau de la production d'engrais et des stations d'épuration des eaux usées) et une amélioration de la qualité des eaux réceptrices des rejets de station d'épuration.

Contact : martintristan@hotmail.fr / tristan.martin@inra.fr

Prédiction au laboratoire de la dynamique du carbone des PRO au champ : application sur QualiAgro et perspectives d'utilisation

Germain M¹, Levavasseur F¹, Duparque A², Mouny JC², Mary B³, Clivot H³, Houot S¹

¹ UMR INRA AgroParisTech ECOSYS, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

² Agro-Transfert Ressources et Territoires, 80200 Estrées-Mons

³ UR INRA AgrolImpact, 02000 Barenton-Bugny, France

Mots clefs : produits résiduaux organiques, AMG, coefficient isohumique, territoire

Introduction

Le carbone organique des sols joue un rôle essentiel dans les propriétés physiques, l'activité biologique et la disponibilité des éléments nutritifs (azote en particulier). Le stockage de carbone dans les sols est également vu comme un moyen d'atténuer le changement climatique en compensant une partie des émissions de gaz à effet de serre. Le recyclage en agriculture des Produits Résiduaux Organiques (PRO) tels les composts urbains ou les effluents d'élevage est un des moyens d'augmenter les stocks de carbone organique dans les sols. Dans le modèle AMG (Andriulo et al., 1999), modèle simple de simulation de la dynamique de la matière organique dans les sols utilisé pour simuler les effets des pratiques culturales sur les stocks de carbone organique dans les sols cultivés, la fraction du carbone des PRO qui intègre le stock de carbone du sol correspond au coefficient isohumique K1, la fraction restante étant minéralisée. Ce coefficient est très variable entre PRO, selon leur minéralisation plus ou moins rapide. Des références de K1 par PRO sont ainsi nécessaires dans l'objectif de gérer au mieux les apports de PRO, pour maximiser le stockage de carbone par exemple.

Afin de déterminer ce coefficient K1, des essais au champ de longue durée ont été mis en place. L'intégration de ces résultats expérimentaux au champ dans le modèle AMG, permet alors de déterminer le coefficient isohumique K1 des PRO par inversion du modèle. Un nombre limité de PRO peut cependant être testé au champ, ces essais étant lourds à mettre en œuvre. Afin de pallier aux limites de ces essais, des déterminations des coefficients K1 en laboratoire ont été proposées, que ce soit via des incubations ou des fractionnements biochimiques (ISMO) (Noirot-Cosson et al., 2017). Se pose néanmoins la question de savoir si ces estimations de K1 en laboratoire sont de bons prédicteurs des K1 obtenus au champ. L'objectif de ce travail est donc de vérifier si les déterminations en laboratoire du K1 de différents PRO sont satisfaisantes pour prédire l'évolution du carbone des PRO obtenus au champ, en s'appuyant sur le site expérimental QualiAgro.

Matériel et méthodes

Dans un premier temps, les coefficients isohumiques K1 des PRO apportés sur le site expérimental QualiAgro sont estimés à partir d'incubation en laboratoire. Le module STICS-résidus permet d'optimiser la valeur de K1 qui reproduit au mieux l'évolution de la minéralisation du carbone dans les incubations. On cherche ensuite à prédire ces K1 obtenus par incubation par l'indicateur ISMO. En parallèle, la modélisation avec AMG de l'essai au champ QualiAgro permet la détermination des coefficients K1 par inversion du modèle. Finalement, les différentes valeurs de K1 obtenus par incubation, prédiction avec l'ISMO et par inversion du modèle AMG sont comparées, ainsi que la qualité de prédiction de la dynamique du carbone au champ avec ces différentes valeurs de K1.

Résultats et discussion

Avec la version initiale de STICS résidus, la prédiction de la dynamique du carbone dans les incubations n'est pas satisfaisante. Le partitionnement du C organique des PRO en 3 compartiments est indispensable : (i) fraction labile se dégradant via l'activité de la biomasse zymogène, (ii) fraction plus récalcitrante s'incorporant à la matière organique active du sol et se décomposant selon la même dynamique, (iii) fraction s'incorporant au carbone organique stable de la matière organique

du sol. Le K1 se décompose alors en deux composantes : un K1a qui correspond à la fraction du carbone du PRO qui rejoint le compartiment de carbone actif du sol et issus des 2 premières fractions du PRO, et Cs qui correspond à la fraction de carbone du PRO qui rejoint le carbone stable du sol. L'optimisation des K1 des PRO dans cette nouvelle version de STICS-résidus permet alors de prédire avec une qualité satisfaisante l'ensemble des incubations de PRO (RRMSE moyenne pour tous les PRO de 4 %). L'ISMO s'avère être un bon prédicteur des K1 obtenus par incubation ($r^2 = 0,79$). Cependant, la prédiction de la composante K1a n'est pas bonne ($r^2 = 0,28$).

Afin d'être cohérent avec STICS résidus, une fraction stable dans le PRO a également été intégrée au modèle AMG. La simulation de QualiAgro avec cette nouvelle version permet de représenter de façon très satisfaisante l'évolution au champ du carbone organique du sol (RRMSE moyenne pour tous les traitements de 3 %), mais apporte peu de plus-value par rapport à la version sans carbone stable dans le PRO (RRMSE moyenne de 5 %). Le modèle s'avère par ailleurs peu sensible à la valeur de K1a.

Les valeurs de K1 prédites par les incubations ou l'ISMO sont corrélées aux K1 optimisés par inversion du modèle AMG ($r^2 = 0.7$ et 0.8 respectivement, avec seulement 4 PRO). Les déterminations en laboratoire s'avèrent donc être de bons prédicteurs des K1 optimisés sur la base des essais au champ. Cependant, les K1a ne sont pas bien prédits par les incubations. Du fait qu'AMG soit peu sensible à ce paramètre, la prédiction du carbone du sol en utilisant directement les K1a et Cs prédits au laboratoire restent satisfaisantes (RRMSE moyenne pour tous les traitements de 4 %, avec prédiction via les incubations ou l'ISMO). Les K1 obtenus en laboratoire permettent donc de prédire efficacement l'évolution du carbone du sol observée au champ.

La modification du formalisme des modèles STICS-résidus et AMG, en intégrant une partie de carbone stable dans les PRO questionnent malgré qu'elle soit nécessaire pour bien simuler les incubations en laboratoire. Elle apporte en effet peu de plus-value pour simuler les données au champ. Elle amène par ailleurs à intégrer la majorité du carbone des PRO sous une forme stable (non minéralisable), ce qui paraît peu cohérent avec l'effet long terme des PRO et le surcroît de minéralisation généralement observé. Le paramétrage du carbone des PRO dans AMG nécessiterait donc d'étudier les conséquences sur la minéralisation et la fourniture en azote également.

Ces résultats obtenus sur le site de QualiAgro seront à compléter sur d'autres sites du SOERE-PRO afin de valider le pouvoir prédictif au champ des expérimentations en laboratoire. La prédiction par l'ISMO des K1 obtenus étant de qualité moyenne, il est également nécessaire de trouver d'autres prédicteurs du K1, la réalisation des incubations de PRO en laboratoire étant elle-même assez lourde à mettre en œuvre, même si plus aisée que la réalisation d'essai longue durée au champ.

Enfin, une fois validé le pouvoir prédictif de ces expérimentations en laboratoire, elles pourront être utilisées pour paramétrer un grand nombre de PRO dans les modèles de carbone du type d'AMG. Cela ouvre alors des perspectives intéressantes d'utilisation du modèle AMG à l'échelle territoriale pour optimiser la gestion des PRO.

Andriulo, A., Mary, B., Guérif, J., 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*, 19(5), 365-377.

Noirot-Cosson P. E., Dhaouadi K., Etievant V., Vaudour E., Houot S., 2017. Parameterisation of the NCSOIL model to simulate C and N short-term mineralisation of exogenous organic matter in different soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 128-140.

Contact : florent.levasseur@inra.fr