



# Assemblée générale du SOERE PRO

Jeudi 13 octobre 2016  
Saint Rémy lès Chevreuse





## - Assemblée Générale du SOERE PRO – 13 Octobre 2016, Saint Rémy lès Chevreuse

### 10h30. Accueil

**11h – 12h. Principales informations 2016** - informations sur les sites du SOERE PRO, veille scientifique et presse, site web, système d'information, ANAEE, ALLENI : **Michaud A, Sireyjol C, Houot S**

### 12h – 12h30. Présentation de la Fondation de Coubertin et de la Ferme de Coubertin

### 12h30 – 13h30. Repas

### 13h30 – 15h30

Monétarisation des préférences des agriculteurs et des citoyens en matière de recyclage agricole des PRO par la méthode des choix multi-attributs, **Vicard F, Boucard P** (13h30 – 14h)

Étude de l'effet des hyphes mycéliens, des lombriciens et de leurs interactions sur l'agrégation des sols : comparaison de conditions contrastées de pratiques de fertilisation et de travail du sol, **Paillat L, Carteaux L, Busnot S, Roucaute M, Benard Y, Damousse I, Trinkler B, Morvan T, Pérès G, Menasseri S** (14h – 14h20)

Les apports de PRO modifient les activités enzymatiques du sol : interactions avec le contexte pédoclimatique des apports, **Obriot F, Grondin V, Watteau F, Sappin-Didier V, Morvan T, Feder F, Montenach D, Houot S, Cheviron N** (14h20 – 14h40)

Bilan et évolution des stocks d'éléments en trace métalliques sous l'effet d'épandages de PRO, application au site QualiAgro, **Michaud A, Cambier P, Mercier V, Germain M, Houot S** (14h40 – 15h)

Impact of 16 years of repeated organic matter inputs on earthworm burrowing activity: quantification by X-Ray computed tomography imaging and digital processing, **Védère C, Pelosi C, Pot V, Houot, Montagne D** (15h – 15h25)

### 15h30 – 16h. Pause

### 16h – 18h

Evaluation multicritère du retour au sol des PRO : apports et limites des différentes approches, **Levasseur F, Avadi A, Théron O, Houot S** (16h – 16h30)

Effet de la modification des propriétés de sols de La Réunion fertilisés avec des PRO sur leur disponibilité en phosphore - approches couplées d'essais de terrain et d'incubations successives en conditions contrôlées, **Nobile C, Bravin M, Paillat J-M, Becquer T** (16h30 – 16h50)

Mesure de l'impact d'apports répétés de composts urbains sur les émissions de protoxyde d'azote en champ cultivé, **Mercier V, Hagberg J, Bammé A, Vachet E, Rampon J-N, Houot S** (16h50 – 17h10)

Devenir des antibiotiques dans les sols agricoles amendés ou non par des déchets organiques, et effets combinés de contaminants, **Andriamalala A, Vieublé-Gonod L, Cambier P** (17h10 – 17h30)

Des PRO sur les toits ?, **Grard B, Chenu C, Frascaria-Lacoste N, Aubry C** (17h30 – 17h50)

### Conclusion de la journée

### 18h – 19h. Apéritif à la découverte des régions du SOERE PRO

### Après 19h. Dîner

*Réunions du SOERE PRO, Saint Rémy lès Chevreuse, les 13 et 14 octobre 2016*





**Sabine Houot** ([sabine.houot@grignon.inra.fr](mailto:sabine.houot@grignon.inra.fr))  
 Aurélia Michaud ([amichaud@grignon.inra.fr](mailto:amichaud@grignon.inra.fr))

#### Valor PRO (site web et veille)

**Sabine Houot** ([houot@grignon.inra.fr](mailto:houot@grignon.inra.fr))  
 Aurélia Michaud ([amichaud@grignon.inra.fr](mailto:amichaud@grignon.inra.fr))  
 Christine Sireyjol ([christine.sireyjol@versailles.inra.fr](mailto:christine.sireyjol@versailles.inra.fr))  
 Florent Levavasseur ([florent.levavasseur@grignon.inra.fr](mailto:florent.levavasseur@grignon.inra.fr))  
 Frédéric Feder ([frederic.feder@cirad.fr](mailto:frederic.feder@cirad.fr))  
 Emmanuel Doelsch ([doelsch@cirad.fr](mailto:doelsch@cirad.fr))

#### SI PRO (système information)

**Aurélia Michaud** ([amichaud@grignon.inra.fr](mailto:amichaud@grignon.inra.fr))  
 Cellule EcoInformatique

#### QualiAgro

**Sabine Houot** ([houot@grignon.inra.fr](mailto:houot@grignon.inra.fr))  
 Vincent Mercier ([vmercier@grignon.inra.fr](mailto:vmercier@grignon.inra.fr))  
 Véronique Etiévant ([etievant@grignon.inra.fr](mailto:etievant@grignon.inra.fr))  
 Aurélia Michaud ([amichaud@grignon.inra.fr](mailto:amichaud@grignon.inra.fr))  
 Agathe Revallier ([agathe.revallier@veolia.com](mailto:agathe.revallier@veolia.com))  
 Eric Vachet ([eric.vachet@grignon.inra.fr](mailto:eric.vachet@grignon.inra.fr))

#### PRO'spective

**Sabine Houot** ([houot@grignon.inra.fr](mailto:houot@grignon.inra.fr))  
 Denis Montenach ([denis.montenach@colmar.inra.fr](mailto:denis.montenach@colmar.inra.fr))  
 Frédéric Hammel ([hammel@colmar.inra.fr](mailto:hammel@colmar.inra.fr))  
 Nathalie Valentin ([n.valentin@smra68.net](mailto:n.valentin@smra68.net))  
 Magali Imhoff ([m.imhoff@smra68.net](mailto:m.imhoff@smra68.net))  
 Anne Schaub ([a.schaub@alsace.chambagri.fr](mailto:a.schaub@alsace.chambagri.fr))

#### EFELE

**Thierry Morvan** ([thierry.morvan@inra.fr](mailto:thierry.morvan@inra.fr))  
 Jérôme Chiffe ([jerome.chiffe@inra.fr](mailto:jerome.chiffe@inra.fr))

#### La Bouzule

**Françoise Watteau** ([francoise.watteau@univ-lorraine.fr](mailto:francoise.watteau@univ-lorraine.fr))  
 Stéphane Colin ([stephane.colin@univ-lorraine.fr](mailto:stephane.colin@univ-lorraine.fr))  
 Alain Rakoto ([alain.rakoto@univ-lorraine.fr](mailto:alain.rakoto@univ-lorraine.fr))  
 Adeline Bouchard ([adeline.bouchard@univ-lorraine.fr](mailto:adeline.bouchard@univ-lorraine.fr))

#### Couhins

**Valérie Sappin-Didier** ([didier@bordeaux.inra.fr](mailto:didier@bordeaux.inra.fr))

#### la Réunion

**Frédéric Feder** ([frederic.feder@cirad.fr](mailto:frederic.feder@cirad.fr))  
 Patrick Légier ([patrick.legier@cirad.fr](mailto:patrick.legier@cirad.fr))  
 Laurent Thuries ([laurent.thuries@cirad.fr](mailto:laurent.thuries@cirad.fr))  
 Matthieu Bravin ([matthieu.bravin@cirad.fr](mailto:matthieu.bravin@cirad.fr))

#### Gampèla - Burkina Faso

**Edmond Hien** ([edmond.hien@ird.fr](mailto:edmond.hien@ird.fr))  
**Dominique Masse** ([dominique.masse@ird.fr](mailto:dominique.masse@ird.fr))

*Responsable scientifique*  
*Gestionnaire/coordonateur*

## Résumés

Principales informations 2016.....	4
Monétarisation des préférences des agriculteurs et des citoyens en matière de recyclage agricole des PRO par la méthode des choix multi-attributs .....	7
Etude de l'effet des hyphes mycéliens, des lombriciens et de leurs interactions sur l'agrégation des sols. Comparaison de conditions contrastées de pratiques de travail du sol et de fertilisation .....	8
Les apports de PRO modifient les activités enzymatiques du sol: interactions avec le contexte pédoclimatique des apports .....	9
Impacts de 16 ans d'apports répétés de matières organiques sur la création de galeries de vers de terre: quantification par analyse d'images issues de tomographie à rayons X.....	11
Évaluation multicritère du retour au sol des PRO : apports et limites des différentes approches...	12
Effet de la modification des propriétés de sols de La Réunion fertilisés avec des engrais organiques sur leur disponibilité en phosphore.....	13
Approches couplées d'essais de terrain et d'incubations successives en conditions contrôlées .....	13
Mesure de l'impact d'apports répétés de composts urbains sur les émissions de protoxyde d'azote en champ cultivé .....	14
Devenir des antibiotiques dans les sols agricoles amendés ou non par des déchets organiques, et effets combinés de contaminants .....	15
Des Produits Résiduaire Organiques sur les toits ? .....	16

## Principales informations 2016

Informations sur les sites du SOERE PRO, veille scientifique et presse, site web, système d'information, ANAEE, ALLENI

### **Michaud A<sup>1</sup>, Houot S<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

Depuis l'AG 2015, les faits marquants ayant eu lieu sont résumés ci-dessous :

#### **Animation :**

- SOERE PRO : organisation de l'assemblée générale annuelle couplée à une journée réunissant le directoire scientifique (DS) et le comité technique (CT) (les 13 et 14 octobre 2016) résumés et diaporamas disponibles sur le site web <http://www6.inra.fr/valor-pro>.
- PROspective – Colmar : diffusion des actes (présentations et résumés) de la journée technique PROspective du 23/11/2015 (Bilan des paramètres agronomiques sur 12 années de résultats, public scientifique et filière) (<https://colloque.inra.fr/soere-prospective2015/Acte>).
- La Mare – La Réunion : le conseil scientifique d'orientation triennal s'est réuni en septembre 2016 pour s'informer et discuter des résultats acquis et des perspectives proposées. Ce fut l'occasion de nombreuses actions de communications : 4 articles dans les quotidiens, 2 reportages télévisuels, infos. sur internet.

#### **Communication :**

- Mise en place effective de Valor PRO : (1) renseignement de la partie site web (notamment « SOERE PRO : présentation » - <http://www6.inra.fr/valor-pro/SOERE-PRO-presentation>, « SOERE PRO : résultats » (à finaliser début 2017), « Réseau PRO », « Télécharger » avec les diaporamas de l'AG 2015 en accès libre), (2) veille scientifique et de presse et élaboration des 2 premiers bulletins de veille (<http://www6.inra.fr/valor-pro/S-INFORMER/Veille-les-PRO-et-leur-valorisation/Bulletins-de-veille-Valor-PRO>).
- Plaquettes : Des plaquettes ont été élaborées pour une journée ANAEE-France organisée en décembre 2015 (une plaquette pour chaque site intégré à ANAEE-France, une pour le SI et une pour le SOERE PRO).

#### **Système d'information :**

- Données de physico-chimie des PRO et des sols : développement des insertions, de la gestion de ces échantillons, formalisation des fichiers et des formulaires d'extraction.
- Données de capteurs (climat du sol, flux gazeux) : établissement du document métier.
- Arrivée de Jean-Baptiste Duclos (AI, EcoSys) : appui A Michaud pour tester et insérer les données, puis développer des outils informatiques de visualisation/formatage/calculs sur les données du SI.

#### **Scientifiques :**

- Activités enzymatiques : traitement des données mesurées dans l'ensemble des sites du SOERE PRO (Obriot et al 2016), compilation des données dans un tableur excel, rédaction d'un rapport (59 pages hors annexes), présentation à l'AG SOERE PRO 2016 ; Conclusion scientifique : pas d'effet écotoxicologique observé, sauf sur le site de Couhins où un effet négatif des apports massifs de PRO (i.e. métaux) même longtemps après arrêt des apports en raison de la contamination en métaux des sols.
- Doctorats : 5 soutenances en 2016 de travaux associés ou utilisant le SOERE PRO.
- Publications : 10 articles scientifiques (rang A) associés ou utilisant le SOERE PRO.
- Dépôt du projet PROterr : « Optimisation de l'insertion des Produits Résiduaire Organiques dans les systèmes de culture comme levier des services écosystémiques rendus par les sols à l'échelle TERRitoriale », projet se basant sur l'utilisation des sites et des données du SOERE PRO, porteur S Houot.

### Conduite et suivis des sites :

- PROspective : nouveau protocole du sous-essai prospectif, fertilisation uniquement organique avec introduction des digestats de méthanisation, résultats de rendements encourageants sur 2015/2016.
- EFELE : 5<sup>ème</sup> année d'expérimentation, bilan approfondi sur le sol (mesures physiques, teneurs en éléments majeurs, inventaire macrofaune et lombrics, biomasse microbienne, activités enzymatiques, etc.).
- QualiAgro : culture et prélèvements de luzerne, conduite en agriculture biologique ; traitement des 1<sup>ers</sup> résultats de suivis des GES (stage J Hagberg, présentation à l'AG SORE PRO 2016).
- La Mare : dispositif de suivis des émissions gazeuses complété avec 6 nouvelles enceintes, dosage des résidus médicamenteux en local (transfert de compétences de M Deschamps - EcoSys à G Moussard – CIRAD Réunion), 3<sup>ème</sup> campagne de suivis de la faune du sol.
- Couhins : Utilisation d'échantillons de sol pour des travaux de recherche (ex. disponibilité du Cd, activités enzymatiques, bioaccessibilité des ETM, projet de normalisation du test ecotoxique « Indice OMEGA 3 »).
- La Bouzule : le site est en résilience sans expérimentation, la valorisation des résultats du programme Vadebio est en cours, des échantillons de sol ont été prélevés (monitoring et activités enzymatiques).
- Gampéla : bilan et présentation des résultats (DS/CT SOERE PRO, diaporama sur ValorPRO), interrogation sur la poursuite du site avec apport de Burkina phosphate, nouvel essai avec composts paysans en 2016.

### ANAEE, ALLENVI, questions administratives :

- ALLENVI : Re-labellisation du SOERE PRO par ALLENVI en 2015, avec une réponse officielle transmise en février 2016 ; Proposition de contractualisation sur 5 ans ; Rapport sur les travaux conduits en 2016 transmis en novembre 2016
- ANAEE-France : Intégration du site de la Mare dans ANAEE-France ; travaux sur les chartes en suspend en 2016, ils devraient être relancés par ANAEE-France ; coûts des services à construire (Cf point ci-après)
- Proposition de tarification : discutée avec le Directoire Scientifique du SOERE PRO ; pour participer aux frais de gestion du site. Cette proposition de tarification répond aux contraintes suivantes : (1) le financement institutionnel est insuffisant (ANAEE+INRA) et couvre 20 à 35% des couts de fonctionnement analytique, hors salaire et maintien des équipements ; (2) Le financement par projets (contrats de recherche) et le recrutement de contractuels occasionnent une fragilité dans la pérennité des sites ; (3) La tarification du service PRO est requise par ANAEE.
- ANAEE-Europe : Proposition d'intégration des 4 sites principaux (QualiAgro, PROspective, EFELE, La Mare) à la réponse française ANAEE-Europe (Infrastructure : offre plateformes dédiées à l'étude d'écosystèmes) ; informations de descriptions des sites à améliorer.
- Restructuration probable les liens entre les infrastructures de recherche (IR) et les SOERE labellisés par ALLENVI, notamment les liens avec ANAEE-France où sont intégrés tout ou partie des sites de 4 SOERE financés jusqu'à présent par ALLENVI (ACBB, F-ORE-T, PRO, LACS). Une réunion a été organisée le 20/10/2016 pour (1) évaluer les objectifs, résultats et contours des IR, (2) dresser un bilan de l'intégration des structures financées par ALLENVI comme les SOERE dans ces IR, (3) identifier des pistes d'intégration de nouvelles structures (ex. AAP ALLENVI) dans ces IR existantes.
- Contours du SOERE PRO et pérennisation des financements : Intégration du site au Sénégal mis en place en 2016 par le CIRAD UPR Recyclage et Risque au sein du LMI IE SOL ; Suite à la sollicitation de l'ADEME en 2015/2016 pour demander un soutien financier récurrent des sites de longue durée, une réflexion est en cours et le financement d'EFELE est acté.

**Contacts :** [aurelia.michaud@inra.fr](mailto:aurelia.michaud@inra.fr)  
[sabine.houot@inra.fr](mailto:sabine.houot@inra.fr)

## Monétarisation des préférences des agriculteurs et des citoyens en matière de recyclage agricole des PRO par la méthode des choix multi-attributs

**Vicard F**<sup>1</sup>, Boucard P<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Veolia Recherche et Innovation, Chemin de la digue, 78 603 Maisons-Laffitte.

<sup>2</sup>INERIS, Parc Technologique ALATA, BP n° 2, 60 550 Verneuil en Halatte.

Cette communication présente les résultats de deux évaluations économiques sur les effets associés à la valorisation agricole de Produits Résiduaire Organiques (PRO) d'origine urbaine. A partir de la méthode des choix multi-attributs, nous avons mesuré l'importance que deux populations d'individus – des citoyens ordinaires et des agriculteurs – accordent à différents effets, positifs comme négatifs, de l'épandage de boues ou de composts de déchets sur des terres agricoles. Les résultats ont permis d'identifier les leviers d'action pour développer le recyclage des PRO d'origine urbaine en agriculture, au regard du contexte français.

Contacts : [fanny.vicard@veolia.com](mailto:fanny.vicard@veolia.com)  
[pierre.boucard@ineris.fr](mailto:pierre.boucard@ineris.fr)

## Etude de l'effet des hyphes mycéliens, des lombriciens et de leurs interactions sur l'agrégation des sols. Comparaison de conditions contrastées de pratiques de travail du sol et de fertilisation

**Paillat L<sup>1,2</sup>, Menasseri S<sup>1,4</sup>, Carreaux L<sup>1</sup>, Busnot S<sup>1</sup>, Roucaute M<sup>1</sup>, Benard Y<sup>1</sup>, Trinkler B<sup>1</sup>, Damousse I<sup>1</sup>, Morvan T<sup>1</sup>, Pérès G<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> UMR SAS (Sol Agro et hydrosystèmes Spatialisation), INRA, Agrocampus Ouest, Rennes (35), France

**Mots-clés** : stabilité structurale, lombriciens, hyphes mycéliens, travail du sol simplifié, apports organiques

Si les relations entre la stabilité structurale et la Matière Organique (MO) sont bien documentées, les processus associés à l'action combinée des lombriciens et des hyphes mycéliens méritent d'être éclaircis. Cette étude vise à préciser le rôle de ces agents biologiques et de leurs interactions dans les processus d'agrégation. Nous avons mené une étude in situ sur le dispositif du SOERE-Pro EFELE associée à une expérimentation en conditions contrôlées. Au champ, nous avons étudié ces relations dans un contexte de réduction du travail du sol et d'apports organiques, pratiques identifiées comme leviers améliorant l'état physique du sol. La stabilité structurale a été mesurée par des tests d'intensités différentes : une humectation rapide (HR), une humectation lente (HL) et une désagrégation mécanique (DM). Les communautés lombriciennes, prélevées selon une méthode combinant une extraction chimique et physique, ont été caractérisées par leur abondance et leur structure fonctionnelle ; les hyphes mycelliens ont été caractérisés par leur nombre et leur longueur. Les résultats montrent que la réduction du travail du sol et les apports organiques ont permis une amélioration de la stabilité au terme de 4 ans de différenciation. La réduction du travail du sol a favorisé le développement des anéciques, alors que les endogés ont tiré profit des apports organiques. La réduction du travail du sol (sous fertilisation minérale) a aussi favorisé la longueur totale des hyphes. L'étude conjointe des drivers montre que les lombriciens moduleraient les processus d'agrégation : les endogés diminueraient la stabilité HR (action mécanique des hyphes) tandis que les anéciques favoriseraient la stabilité HL (cohésion particulaire et hydrophobicité). L'expérimentation au laboratoire a permis de préciser ces relations en comparant les déjections d'une espèce endogée *Aporrectodea c. caliginosa typica* (NCCT) et d'une espèce anécique *Lumbricus terrestris* (LT). Malgré une stabilité moindre des déjections de NCCT, la fragmentation attendue des hyphes par cette espèce géophage n'a pas été mise en évidence. A contrario, les hyphes plus abondants, la stabilité des agrégats et la teneur en C plus importantes dans les déjections de LT confirmeraient l'hypothèse d'une influence positive de cette espèce anécique sur la stabilité des agrégats.

Contacts :

<sup>2</sup> [louisepaillat@gmail.com](mailto:louisepaillat@gmail.com)

<sup>3</sup> [guenola.peres@agrocampus-ouest.fr](mailto:guenola.peres@agrocampus-ouest.fr)

<sup>4</sup> [menasser@agrocampus-ouest.fr](mailto:menasser@agrocampus-ouest.fr)

## Les apports de PRO modifient les activités enzymatiques du sol: interactions avec le contexte pédoclimatique des apports

**Obriot F<sup>1</sup>, Grondin V<sup>1</sup>, Watteau F<sup>2</sup>, Sappin-Didier V<sup>3</sup>, Morvan T<sup>4</sup>, Feder F<sup>5</sup>, Montenach D<sup>6</sup>, Houot S<sup>1</sup>, Cheviron N<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup>CNRS, Laboratoire Sols et Environnement, F-54518 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

<sup>3</sup>INRA, UMR ISPIA, F-33882 Villenave d'Ornon, France

<sup>4</sup>INRA, UMR1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

<sup>5</sup>CIRAD, UPR Recyclage et Risques, Dakar, Sénégal

<sup>6</sup>INRA, F-68006 Colmar, France

**Mots clefs:** produits résiduels organiques, activités enzymatiques, agrégation des données, effets croisés

Les microorganismes des sols sont impliqués via la production d'enzymes dans la transformation et le recyclage de la matière organique (MO). Ils contribuent ainsi aux cycles biogéochimiques et sont indispensables à la fertilité des sols (Piotrowska-Dlugosz 2016). De nombreux auteurs ont montrés que les éléments traces métalliques (Renella et al., 2003), l'apport de MO (Bol et al., 2003) ou les pratiques culturales (Bandick and Dick, 1999) ont des effets sur les activités enzymatiques des sols. Ces activités enzymatiques constituent de bons indicateurs du fonctionnement du sol (Nannipieri et al., 2003) et de sa biodiversité (Caldwell, 2005).

Dans les sites du SOERE-PRO, l'influence de la fertilisation organique et inorganique sur les activités enzymatiques du sol dépend des doses d'apports, de la fréquence des applications, de leurs propriétés chimiques, du type de sol et des conditions climatiques. Depuis 2012, la plateforme expérimentale Biochemenv (ECOSYS, Versailles) suit l'évolution systématique de 4 activités enzymatiques : uréase (URE, cycle du N), glucosidase (GLU, cycle du C), phosphatase totale (PHOS, cycle du P) et arylsulfatase (ARYL, cycle du S) sur l'ensemble des sites du SOERE-PRO. Cette présentation a pour objectif de comparer les résultats obtenus sur l'ensemble des sites expérimentaux dont la gestion et les contextes pédoclimatiques diffèrent.

Nous avons choisi de distinguer les sites, en fonction de leur principale question d'étude: 4 sites « non contaminés » (Colmar, QualiAgro, EFELE et la Mare) et 3 sites avec niveaux « contaminés » (Bouzule, Couhins Saint Denis de Pile et Couhins Louis Fargue). Au sein des sites « non contaminés », une distinction peut être faite entre les « jeunes » sites respectivement EFELE et La MARE (<5 ans) et les « vieux sites » (>15 ans) incluant QualiAgro et Colmar. Nous présenterons seulement les résultats des sites « non contaminés ».

Dans les traitements témoin des différents sites, l'activité PHOS dépend du site d'étude et montre une grande amplitude de réponse (20-80 mU/g de sol sec). L'activité URE et GLU présentent des activités moyennes (5-15 mU/g de sol sec) alors que l'activité ARYL a une activité faible et identique entre sites (~ 5 mU/g de sol sec). La variable « culture » semblerait avoir un effet sur la GLU. Dans les traitements recevant des PRO, les résultats des activités enzymatiques ont été « normalisés » par rapport à leur contrôle respectif soit en delta du contrôle, soit en pourcentage d'augmentation du contrôle. Aucune évolution temporelle n'a été clairement observée, en lien avec le fait que nous n'avons pas de mesure de l'état initial des activités enzymatiques pour les plus « vieux » sites (Colmar et QualiAgro) et pas assez de recul sur les « jeunes » sites (La Mare et EFELE). L'activité ARYL est faible quel que soit le site expérimental. Les apports répétés de PRO modifient significativement les activités GLU, URE et PHOS à QualiAgro en lien avec le niveau fort de la MO apporté par les PRO sur ce site. L'activité PHOS est significativement plus élevée à QualiAgro dans les GWS et FYM à cause de leur richesse en P. Le site de Colmar montre moins d'effet de l'apport de PRO sûrement à cause des plus faibles quantités apportées

par les PRO et des flux de résidus de culture identiques apportés dans chaque parcelle. Les « jeunes » sites ne permettent pas encore de mettre en évidence d'effet des PRO sur les activités enzymatiques. Aucune corrélation significative n'a été mise en évidence entre les paramètres du sol et les activités enzymatiques, sauf dans le cas d'un apport élevé de MO (cas de QualiAgro).

Bandick, A.K., Dick, R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1471–1479. doi:10.1016/S0038-0717(99)00051-6

Bol, R., Kandeler, E., Amelung, W., Glaser, B., Marx, M.C., Preedy, N., Lorenz, K., 2003. Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1411–1421. doi:10.1016/S0038-0717(03)00235-9

Caldwell, B.A., 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologia* 49, 637–644. doi:10.1016/j.pedobi.2005.06.003

Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G., 2003. The links between microbial diversity and soil functions. Organization Economic Cooperation & Development, Paris.

Renella, G., Ortigoza, A.L.R., Landi, L., Nannipieri, P., 2003. Additive effects of copper and zinc on cadmium toxicity on phosphatase activities and ATP content of soil as estimated by the ecological dose (ED50). *Soil Biol. Biochem.* 35, 1203–1210. doi:10.1016/S0038-0717(03)00181-0

Piotrowska-Dlugosz A. 2016. Enzyme and soil fertility. in *Enzyme in agricultural science*, chapter 2, report, 155p.

Contact : [Fiona.obriot@gmail.fr](mailto:Fiona.obriot@gmail.fr) / [fobriot@grignon.inra.fr](mailto:fobriot@grignon.inra.fr)

## Impacts de 16 ans d'apports répétés de matières organiques sur la création de galeries de vers de terre: quantification par analyse d'images issues de tomographie à rayons X

**Védère C<sup>1</sup>, Pelosi C<sup>2</sup>, Pot V<sup>1</sup>, Houot S<sup>1</sup>, Montagne D<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup>INRA, UMR1402 ECOSYS, Versailles, France

<sup>3</sup>AgroParisTech, UMR1402 ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

**Mots clefs :** Vers de terre, création de porosité, produits résiduaux organiques, tomographie à rayon X

Les vers de terre, sont le support d'un grand nombre de services écosystémiques. La gestion de leur activité par le choix et la modulation des pratiques agricoles apparaît être un outil pertinent pour optimiser l'expression des services écosystémiques. Dans ce contexte, cette étude vise à quantifier l'impact à long terme d'apports répétés de matières organiques exogènes de différentes qualités sur l'un des rôles fonctionnels des vers de terre: la création de galeries. Les communautés de vers de terre d'une part et la taille et la forme de leur réseau d'autre part sont simultanément quantifiées dans trois modalités du site Qualiagro du SOERE PRO: sans apports (CTR), avec des apports de fumier (FYM) et avec des apports de boues de station d'épuration et déchets verts (GWS). Les différences entre les traitements CTR et FYM ont pour but d'estimer l'impact des apports de matières organiques et les différences entre les traitements FYM et GWS de déterminer l'impact de la qualité de ces matières organiques. Une méthode d'analyse d'image, issues de tomographie à rayon X de sols non remaniés, a été développée pour extraire la porosité biologique en 3D. Suite à sa validation, cette méthode a été capable d'identifier 50% de la porosité biologique sans aucune confusion avec d'autres types de porosité. Il a été démontré que les apports de matières organiques, notamment de GWS, induisent i) une augmentation de la bioporosité résultant de l'augmentation de la biomasse de vers de terre et ii) un changement de forme de la bioporosité résultant d'une modification de la composition spécifique des communautés. Bien que significatifs, ces changements ont une trop faible amplitude pour induire des changements significatifs de la porosité totale qui reste contrôlée par le labour. Il a donc été démontré que la qualité des matières organiques peut modifier la composition des communautés de vers de terre mais aussi leur activité. Ainsi, l'impact très positif du traitement FYM sur les communautés (biomasse et abondance) est compensé par une diminution de l'activité de cette communauté. Au contraire, bien que le traitement GWS soit moins favorable aux communautés, il permet de maintenir un haut niveau d'activité des vers de terre favorable à une augmentation significative de la bioporosité. Dans le but d'augmenter la bioporosité, il est donc nécessaire de ne pas seulement favoriser les communautés mais aussi de maintenir un niveau de «stress» suffisant pour garantir une activité importante des vers de terre.

Contact : [charlottevedere@gmail.com](mailto:charlottevedere@gmail.com)

## Évaluation multicritère du retour au sol des PRO : apports et limites des différentes approches

**Levasseur F<sup>1</sup>, Avadi A<sup>2</sup>, Thérond O<sup>3</sup>, Houot S<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMR ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval Grignon

<sup>2</sup> CIRAD, UR Recyclage et Risque, 34398 Montpellier

<sup>3</sup> UMR LAE, INRA, Université de Lorraine, 68000 Colmar

**Mots clefs** : évaluation multicritère, échelle, indicateur, modèle de culture, ACV

L'épandage de PRO en agriculture s'effectue à l'échelle de la parcelle cultivée, qui appartient à une exploitation et plus largement à un territoire. L'épandage prend aussi place au sein d'une filière de recyclage. L'évaluation de la pratique du retour au sol des PRO peut s'envisager à chacune de ces échelles, pour lesquelles une diversité de questionnements et de méthodes d'évaluation existent. L'objectif de ce travail est donc de dresser un panorama des questions qui se posent dans l'évaluation de cette pratique, selon les échelles, ainsi que des méthodes utilisables pour y répondre.

A l'échelle parcellaire, on cherche à optimiser l'insertion des PRO dans les systèmes de culture pour par exemple maximiser l'efficacité agronomique des PRO et/ou minimiser la contamination des sols. Pour répondre à cet objectif, différents modèles multicritères existent qui permettent d'aborder l'ensemble des composantes de la durabilité (environnementale, sociale, économique). Cependant, ces modèles représentent souvent de manière très simplifiée les processus. Une alternative est l'utilisation de modèles de culture pour simuler finement les processus biophysiques et leur interaction (couplage cycle eau, C, N...). Cependant, ces modèles complexes nécessitent un paramétrage fin et d'être associés à d'autres modèles ou indicateurs pour intégrer l'ensemble des composantes de la durabilité (indicateurs économiques...).

A l'échelle de l'exploitation et du territoire, les mêmes questions qu'à l'échelle parcellaire demeurent. On va en plus chercher à optimiser la répartition des PRO sur l'exploitation ou le territoire, en considérant des questions de moyens de production et de temps de travail, de logistique, de variabilité spatiale des systèmes de culture et du milieu ou encore de réaction des acteurs (aux coûts, au climat...). Différents couplages entre modèle de spatialisation, modèles de processus et modélisation multi-agents sont possibles pour répondre à ces nouvelles questions. Ces couplages nécessitent cependant un paramétrage qui peut être délicat et de nombreuses données spatialisées. Les plateformes de modélisation sont un outil adéquat pour réaliser ces couplages.

Enfin, à l'échelle de la filière, en complément des questions précédentes, on cherche à prendre en compte le procédé de traitement/fabrication des PRO dans leur choix et leur évaluation. Les méthodes d'évaluation environnementales comme le bilan carbone, l'analyse coût bénéfices ou l'analyse du cycle de vie (ACV) sont utilisées. L'ACV est une méthode particulièrement adaptée pour évaluer l'ensemble des impacts du « berceau à la tombe ». Dans sa forme actuelle, elle ne représente généralement que de façon très simpliste les spécificités et dynamiques spatio-temporelles d'un territoire, ainsi que les processus biophysiques impliqués. Des perspectives intéressantes existent avec le développement d'ACV territorialisées, spatialisées voire spatio-temporelles.

Afin de réaliser une analyse complète de la pratique de retour au sol des PRO, il est souhaitable de combiner ces différentes méthodes d'évaluation entre elles, pour à la fois représenter correctement les processus biophysiques associés à la pratique, intégrer les contraintes des exploitations, la variabilité spatio-temporelle des territoires et les différentes composantes de la durabilité, mais aussi les activités associées à l'ensemble de filière.

Contact : [florent.levasseur@grignon.inra.fr](mailto:florent.levasseur@grignon.inra.fr)

## Effet de la modification des propriétés de sols de La Réunion fertilisés avec des engrais organiques sur leur disponibilité en phosphore

Approches couplées d'essais de terrain et d'incubations successives en conditions contrôlées

**Nobile C<sup>1,2</sup>, Bravin Matthieu N<sup>1</sup>, Becquer T<sup>3</sup>, Paillat J-M<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> CIRAD, UPR Recyclage et risque, Saint-Denis, La Réunion

<sup>2</sup> Veolia eau, Saint-Denis, La Réunion

<sup>3</sup> IRD, UMR Eco&Sol, Montpellier

<sup>4</sup> CIRAD, UPR Recyclage et risque, Montpellier

**Mots clefs :** phosphore disponible, engrais organiques, propriétés physico-chimiques du sol, adsorption

La forme de phosphore (P) contenue dans les engrais organiques ou minéraux et la quantité de P apportée sont généralement considérées comme les principaux facteurs expliquant les différences de P disponible dans les sols fertilisés. Le rôle des modifications des propriétés physico-chimiques du sol est en revanche peu étudié. Le but de ces travaux était donc de déterminer les effets d'apport d'engrais organiques et minéraux sur les propriétés physico-chimiques et la disponibilité du P dans les sols. Nous avons d'une part étudié des sols issus de deux essais de terrain à La Réunion, correspondant à des andosols fertilisés avec des engrais organiques et minéraux depuis 10 ans. Nous avons d'autre part réalisé des incubations en conditions contrôlées, sur un andosol et un nitisol, avec des apports répétés d'engrais organiques et minéraux à des doses équivalentes en P. Les essais de terrain et les incubations montrent que les engrais organiques (compost de fumier de bovin et lisier de bovin) augmentent le pH et la teneur en carbone organique dans les deux types de sol, comparé au témoin sans apport. Le P disponible ( $P_i$  extrait à l'eau) augmente avec le pH et le C organique (75% des variations du P disponible sont expliquées par ces deux paramètres dans les deux types de sols). Les isothermes d'adsorption réalisés sur l'andosol montrent que cette augmentation de pH et de carbone diminue la capacité d'adsorption en P du sol. Ces résultats suggèrent que les apports répétés d'engrais organiques augmentent le P disponible des sols par répulsion des ions phosphates de la phase solide du sol, suite à une augmentation du pH et une compétition avec les molécules organiques chargées négativement. Le pH et la teneur en carbone organique des sols sont donc deux paramètres majeurs déterminant la disponibilité du P dans les sols fertilisés avec des engrais organiques.

## Mesure de l'impact d'apports répétés de composts urbains sur les émissions de protoxyde d'azote en champ cultivé

**Mercier V<sup>1</sup>, Hagberg J<sup>1</sup>, Bammé A<sup>1</sup>, Vachet E<sup>1</sup>, Rampon J-N<sup>1</sup>, Houot S<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMR ECOSYS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval Grignon

**Mots clés :** GES, PRO, expérimentation au champ, méthodologie, modélisation

L'agriculture contribue pour 13,5% aux émissions de gaz à effet de serre (GES). Les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) contribuent pour moitié à ces émissions de GES par l'agriculture et sont largement liées au fonctionnement biologique des sols (processus de nitrification et dénitrification). Par ailleurs, le contexte réglementaire actuel (lois Grenelle, lois sur les déchets, loi de transition énergétique), est favorable au développement du recyclage des produits résiduaux organiques (PRO) en agriculture.

Depuis 2010, un réseau de sites d'expérimentation au champ mis en place pour étudier les impacts d'apports répétés de PRO sur la qualité des agrosystèmes sur le long terme a été labellisé au niveau national (SOERE PRO pour système d'observation et d'expérimentation pour la recherche en environnement).

L'étude se déroule sur le site « QualiAgro », un des sites de ce réseau SOERE PRO. En décembre 2015 le dispositif s'est équipé un système de chambre automatisée pour le suivi des gaz à effet de serre (GES). Ce système vise à comprendre les dynamiques d'émissions des GES (N<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>) dont les potentiels impacts environnementaux pourraient contrebalancer les intérêts des apports de composts au sol.

Les résultats présentés portent sur les six premiers mois de mesure de ces émissions de GES dans 2 modalités : apport d'engrais organique ou de compost de boue DVB. Tout d'abord, grâce à l'analyse des flux cumulés de N<sub>2</sub>O, nous réalisons que les émissions sont plus importantes sur la modalité DVB avec 229gN/ha (111 kg eqCO<sub>2</sub>/ha) contre 149gN/ha (73 kg eqCO<sub>2</sub>/ha) pour la modalité témoin. Le suivi de paramètres physico-chimiques du sol réalisés en parallèle (pH, azote minéral, teneur en eau), montre que les facteurs favorisant les émissions les plus importants seraient la teneur en nitrates disponible pour les microorganismes et le taux de remplissage en eau des pores du sol (WFPS). Ces deux éléments étant les principaux paramètres influant la dénitrification.

Un autre objectif de cette étude était de simuler les flux de N<sub>2</sub>O émis, l'évolution des stocks en l'azote minéral du sol et le WFPS à l'aide du modèle CERES-EGC. Malgré des difficultés rencontrées à caler ce modèle très complexe, les émissions de protoxyde d'azote simulées sont plutôt bien représentées. Elles suivent la même dynamique que les flux relevés par les chambres de mesures. Toutefois, il y a une surestimation non négligeable du modèle quant aux émissions de fin décembre, début janvier. Les quantités d'azote minéral simulées suivent également la même tendance de surestimation. Enfin la quantité d'eau contenue dans les pores du sol (WFPS) n'est pas simulée correctement avec des valeurs pratiquement toujours inférieures à celles mesurées dans les deux modalités.

S'il est encore trop tôt pour répondre à la question « est-ce que les émissions de N<sub>2</sub>O contrebalancent le stockage de carbone dans les sols? », l'augmentation des stocks de C dans le traitement DVB depuis le démarrage de l'essai (18 ans), soit 25 tC/ha, représente un stockage de 0.7 tC/ha sur une période de 6 mois (durée de suivi des émissions de GES) ou 1800kg eq CO<sub>2</sub> reste supérieure aux 38 kg eq CO<sub>2</sub>/ha émis par les GES de décembre à fin juin.

Contact : [vmercier@grignon.inra.fr](mailto:vmercier@grignon.inra.fr) ; [houot@grignon.inra.fr](mailto:houot@grignon.inra.fr)

## Devenir des antibiotiques dans les sols agricoles amendés ou non par des déchets organiques, et effets combinés de contaminants

**Andriamalala A.<sup>1</sup>, Vieublé-Gonod L.<sup>2</sup>, and Cambier P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> INRA, UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> AGROPARISTECH, UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon, France

**Mots clefs :** sol, antibiotiques, produits résiduaire organique, éléments traces métalliques

Les antibiotiques (ATB), largement utilisés en médecine humaine et vétérinaire, sont en grande partie excrétés. Les antibiotiques sont disséminés dans les sols agricoles via l'épandage des produits résiduaire organiques (PRO) que sont les lisiers ou fumiers, et les composts de déchets verts et boues de station d'épuration (le traitement des eaux usées ne les éliminant pas complètement), avec des risques inconnus sur la santé humaine et l'environnement. De plus, ces PRO contiennent d'autres contaminants tels que les éléments traces métalliques (ETM), qui s'accumulent dans les sols au fil des épandages. Les interactions entre contaminants en relation avec une matrice organique qui évolue au cours du temps et qui interagit elle-même avec les contaminants peuvent affecter le devenir et/ou les effets potentiels des ATB sur les activités microbiennes du sol.

L'étude présente vise à mieux comprendre l'effet historique du sol et l'effet cocktails de contaminants (ATB : ciprofloxacine CIP, ETM) sur le devenir dans les sols d'un ATB couramment consommé : le sulfaméthoxazole (SMX). Les métaux choisis sont le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), ETM dont les apports dans les sols via les PRO sont souvent les plus significatifs. Des incubations de sol + ATB (+/-ETM) ont été réalisées en conditions de laboratoire avec du SMX marqué au <sup>14</sup>C pour suivre son devenir : fractions minéralisées, facilement extractibles, difficilement extractibles, non extractibles.

Pour tester l'effet sol, le SMX (0.02 mg / kg) a été apporté à trois sols se différenciant par leur historique d'apport : un sol témoin non amendé (CONT), et deux sols amendés tous les deux ans depuis 1998, l'un par du fumier (FUM), l'autre par un compost de déchets verts et boue de station d'épuration (DVB). Les résultats montrent que le devenir du SMX est affecté par l'apport de PRO. La minéralisation du SMX est lente, de l'ordre de 10% après 156 jours. La majorité de la radioactivité est concentrée dans les fractions non extractibles. L'apport de PRO favorise l'adsorption et le FUM augmente en particulier la fraction non extractible.

L'impact de l'apport combiné d'une part des antibiotiques SMX et CIP, et d'autre part du SMX et des métaux Cu et Zn, sur le devenir du SMX, ont été étudiés par l'apport du SMX (0.02 mg/kg) seul sur le sol témoin, ou dans une solution contenant la CIP à une dose réaliste (0.15 mg/kg), ou dans une solution de Cu et Zn apportés à dose réaliste (respectivement 20 et 30mg/kg), et 5 fois cette dose (respectivement 100 et 150 mg/kg).

Les résultats n'ont pas mis en évidence d'impact de la CIP sur le devenir du SMX.

La présence de métaux apportés à la dose la plus élevée a provoqué une diminution de la minéralisation du SMX. Ces résultats semblent davantage être attribués à un effet direct des métaux (formation de complexes avec le SMX ou inhibition de l'activité de certains microorganismes), plutôt qu'à un effet indirect du fait de la diminution du pH.

Contact: [aurore.andriamalala@grignon.inra.fr](mailto:aurore.andriamalala@grignon.inra.fr)

## Des Produits Résiduaire Organiques sur les toits ?

**Grard B<sup>1,2,4,5,6</sup>, Aubry C<sup>3</sup>, Frascaria-Lacoste N<sup>4,5,6</sup>, Chenu C<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>INRA, UMR ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup>AgroParisTech, UMR ECOSYS, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>3</sup>INRA, UMR SADAPT, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

<sup>4</sup>Université Paris-Sud, Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, Bât 360, Orsay, France

<sup>5</sup>AgroParisTech, Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, Paris, France

<sup>6</sup>CNRS, Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, Orsay, France

**Mots clefs :** Agriculture urbaine, Technosol, Toiture végétalisée, Résidu urbain, Production alimentaire

Le développement du milieu urbain présente de nombreux défis environnementaux : approvisionnement alimentaire, imperméabilisation des sols, fragmentation du paysage, ruissellement, dégradation de la qualité des eaux de surfaces etc. Face à ces enjeux, le développement de toiture végétalisée apparaît comme l'une des solutions pour réintroduire des espaces de nature en ville et les services écosystémiques qui y sont associés. Un nouveau modèle de toiture émerge et se développe dans de nombreuses capitales (Berlin, Paris, New-York, Bangkok, Le Caire) : la toiture végétalisée productive (Thomaier et al. 2014) basée sur support de culture ou technosol (i.e : sol construit par l'homme à partir de matériaux anthropique) . Concernant ce mode de végétalisation, l'un des enjeux majeurs porte sur le choix du technosol productif. De ce dernier dépendront la majorité des services écosystémiques engendrés, notamment celui de production alimentaire.

Dans un objectif d'efficacité environnementale, le choix du ou des substrats et de leurs agencements qui constituera le technosol devient une problématique majeure.

Le milieu urbain produit un volume très important de déchets fermentescibles actuellement peu valorisés. L'utilisation de tel résidu ou produit dans le cadre de potager en toiture apparaît comme une alternative intéressante. C'est pourquoi, depuis 2012, le projet de recherche T4P (Toit Parisien Productif, Projet Pilote) s'attache à répondre à ces questions de recherche en testant l'utilisation de produit résiduaire issu du milieu urbain en tant que technosol en toiture.

Dans le cadre de cette étude différents dispositifs expérimentaux ont été mis en place avec le test de divers produits issus des déchets de la ville : compost de déchet vert, bois broyé, résidu de champignonnière, brique concassée et compost de biodéchet. Ces derniers présentent des caractéristiques physico-chimiques différenciées. Leurs associations engendrent un certain nombre de services écosystémiques. Parmi les résultats, une production alimentaire conséquente ainsi qu'un abattement important de la quantité d'eau pluviale ont pu être constatés. Toutefois, la dégradation potentielle des eaux gravitaires et l'évolution des technosols notamment en lien avec leurs biodégradations reste l'un des axes d'amélioration de la durabilité de tel système.

Contact : [baptiste.grard@agroparistech.fr](mailto:baptiste.grard@agroparistech.fr)