

PROGRAMME



2015
Année internationale
des sols



Livret du participant

graphisme : saurad@tes.fr - Photos : Chandy Joliet - Camille Guellier

Fonctions environnementales et gestion du patrimoine SOIL



Agence Nationale de la Recherche
ANR





Mardi 28 avril 2015

9h00

Accueil

Introduction

9H50-10H30 **Philippe Courtier**, adjoint au Chef de service de la recherche, MEDDE
Luca Montanarella, Président du Panel intergouvernemental technique sur les sols, Partenariat mondial sur les sols

Session 1 : Une diversité de perception des sols par les acteurs du territoire

Animation : Alexandra Langlais (CNRS) & Jean-Luc FORT (RMT Sols & Territoires)

10h30 - 12h00
5' intro.
10' par projet 45' de discussion

Didier Boutet (U. de Tours), projet **CESAT** « Vers une gestion durable des sols-support des espaces verts : maintien et développement des fonctions et services - Exemple de l'Agglomération Tourangelle »
Louiza Boukharaeva (CNRS), projet **JARDINS FAMILIAUX** « L'utilisation des sols urbains et périurbains pour le développement durable des villes »
Hélène Brives (ISARA), projet **COSAC** « Construction et circulation des connaissances sur les services écosystémiques des sols en agriculture de conservation »
Claude Compagnone (AgroSup Dijon), projet **QUESACTES** « Questionnaire sociologique sur la perception que les agriculteurs et conseillers ont des sols »

Repas

Session 2 : Pratiques et outils pour une gestion durable des sols agricoles

Animation : Véronique Souchère (INRA) & Hélène Gross (ACTA)

13h45 - 15h40
5' intro.
10' par projet 50' de discussion

Aurélia Michaud (INRA), projet **CASDAR Réseau PRO**
Daniel Cluzeau (U. de Rennes 1), projet **VITIECOBIOSOL** « Les sols de vigne vivants : comment gérer ce patrimoine à la base de la pérennité du vignoble de Champagne ? »
Elisabeth Vérame (OSV) et **Nicolas Chemidlin** (INRA), projet **CASDAR Agrinnov** « Indicateurs de l'état biologique des sols agricoles »
Patrick Andrieux (INRA), projet **SP3A** « Préservation des sols viticoles méditerranéens et amélioration de leurs fonctions de régulation des flux d'eau et de matières associées : outils de modélisation pour le choix de pratiques adaptées »
Christian Walter (Agrocampus Ouest) projet ANR **LANDSOIL** « Structure du paysage et conservation des sols sous des conditions évolutives d'occupation du sol et de climat »

Session Poster

15h40 - 17h10

22 projets GESSOL, 6 projets ANR, 3 projets CASDAR

Session 3 : Sols et préservation de la biodiversité

Animation : Jean-Charles Munch (U. de Munich) & Pierre-Edouard Guilain (FRB)

17h10 - 18h00
5' intro.
10' par projet 25' de discussion

Thibault Decaens (U. de Rouen), projet **GENOSOIL** « Approche métagénomique pour l'étude de la biodiversité totale du sol - Application à l'évaluation des impacts anthropiques sur la biodiversité des sols des écosystèmes du Nord-Ouest de la France »
Florence Dubs (IRD), projet **TRACES**, « Les traits de la faune du sol pour relier les changements environnementaux aux fonctions du sol »





Mercredi 29 avril 2015

Session 4 : Eau et contaminants: gestion de la fonction de filtration des sols

Animation : Julien Tournebize (IRSTEA) & Fabienne Marseille (CEREMA)

- 9h00 – 10h50**
5' intro.
10' par
projet 45'
de
discussion
- Elsa Martin** (AgroSup Dijon), projet **ECOSOLHYDRO** « Intégrer la valeur épuratrice de sols hydromorphes dans leur usage - Quelles stratégies d'intervention sur les marchés fonciers ? »
- Thierry Winiarski** (ENTPE), projet **FAFF**, « Formation et évolution d'un Anthropeol et évaluation de sa Fonction Filtration »
- Isabelle Braud** (IRSTEA) projet ANR **FLOODSCALE** « Observation et modélisation multi-échelles pour la compréhension et la simulation des crues éclair »
- Olivier Fouché** (CNAM), projet **ANCRES** « Mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif »
- Roger Frutos** (CIRAD), projet **EBISOL** « Environnement, biopesticides et biotechnologie: quel rôle pour les sols ? »

Pause

Session 5 : Remédiation et réutilisation des sols pollués

Animation : Enrique Barriuso (INRA) & Aurélien Louis (MEDDE)

- 11h15- 12h20**
5' intro.
10' par
projet 30'
de
discussion
- Corinne Leyval** (CNRS) projet ANR **MULTIPOLSITE** « Etude in situ et à long terme du devenir et des conséquences environnementales de la multipollution d'un sol »
- Isabelle Lamy** (INRA) projet ANR **RESACOR** « Reconversion des Sols Agricoles Contaminés : impact des cultures à vocation énergétique sur la biodisponibilité des éléments traces et la relation avec la réponse des Organismes du sol »
- Jérôme Cortet** (CNRS), projet **BIOTECHNOSOL** « Biodiversité et fonctionnement d'un Technosol construit utilisé dans la restauration de friches industrielles »

Repas

Session 6 : Les sols comme archives

Animation : Winfried Blum (BOKU) & Christine King (ANR)

- 14h00 – 14h45**
5' intro.
10' par
projet
20' de
discussion
- Dominique Schwartz** (U. de Strasbourg), projet **APOGEE**, « Les Archives Pédologiques, un Outil pour la Gestion des Ecosystèmes Nouvelles approches, limites temporelles et résolution écosystémique »
- Bernard Geyer et Frank Braemer** (CNRS) projet ANR **PaleoSyr et PaleoLyb** « Paléoenvironnements et occupation du sol en Syrie occidentale et au Lyban durant l'Holocène »

Session Poster

22 projets GESSOL, 6 projets ANR, 3 projets CASDAR

Session 7 : Sols et régulation du climat

Animation : Claire Chenu (AgroParisTech) & Isabelle Feix (Ademe)

- 16h30 – 18h00**
5' intro.
10' par
projet
45' de
discussion
- Bernard Barthès** (IRD), projet **SpecBio** « Indicateurs spectraux de qualité biologique des sols »
- Alexia Gobrecht** (IRSTEA), projet **INCA** « Spectroscopie proche infrarouge in-situ pour la comptabilité carbone : Développement d'un spectromètre portable à bas coût et d'outils chimométriques pour déterminer le stock de carbone du sol directement au champ »
- Emmanuelle Vaudour** (AgroParisTech), projet **PROSTOCK** « Effets de l'apport de produits résiduaux organiques sur le stockage de carbone, les émissions de gaz à effet de serre et la lixiviation du nitrate dans les sols agricoles périurbains »
- Cécile Le Gall** (CETIOM) projet CASDAR **NO GAS** « Mesure et modélisation du N₂O en grandes cultures »

Cocktail dînatoire - Session Poster

22 projets GESSOL, 6 projets ANR, 3 projets CASDAR





Jeudi 30 avril 2015

Session 8 : Affectation et gestion des sols : instruments de politiques publiques

Animation : Frédéric Denhez (Journaliste scientifique)

9h00-11h00

5' intro.
10' par projet
50' de
discussion

Philippe Billet (U. de Lyon 3), projet **NORMASOL** « Recherches sur la protection juridique des fonctions et services du sol »

Robert Lifran (INRA), projet **CAPSOL** « La gestion sociale du capital sol »

Michael Corson (INRA), projet **ACVSol** « Intégration dans l'Analyse de Cycle de Vie d'un indicateur d'impact des activités agricoles sur la qualité des sols »

Thomas Houet (CNRS) projet ANR **MODE RESPYR** « Modélisation rétrospective et prospective des changements d'occupation des sols dans les Pyrénées »

Samuel Robert (CNRS), projet **UQUALISOL-ZU** « Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine - application du bassin minier de Provence »

Pause

Conclusion

Apports de GESSOL et nouveaux besoins de connaissances pour une gestion durable des sols

11h25-12h50

Claire Chenu, présidente du conseil scientifique GESSOL

Anne Hébert-Piquard, Présidente de la communauté de communes de Sèves-Taute, membre du bureau de l'Institut régional du développement durable (Basse Normandie) porteur du projet « Sols contre tous »

Claudia Olazábal, Commission européenne, Direction générale de l'environnement

**12h50 -
13h00**

Clôture

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie





Contenu

Le programme GESSOL.....	7
Liste des projets.....	10
ACV-Sol - Intégration dans l'Analyse de Cycle de Vie d'un indicateur d'impact des activités agricoles sur la qualité des sols.....	11
AgriInnov - Mettre en place des outils opérationnels de type bio-indicateurs pour permettre aux agriculteurs d'évaluer l'impact de leurs pratiques sur la biologie de leur sol et la durabilité de leurs productions.....	12
ANCREs - Mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif.....	13
APOGEE - Les Archives Pédologiques, un Outil pour la GEstion des Ecosystèmes Nouvelles approches, limites temporelles et résolution écosystémique.....	15
BIOTECHNOSOL - Biodiversité et fonctionnement d'un Technosol construit utilisé dans la restauration de friches industrielles.....	16
CAPSOL - La gestion sociale du capital sol.....	18
CESAT - Vers une gestion durable des sols-support des espaces verts : maintien et développement des fonctions et services - Exemple de l'Agglomération Tourangelle.....	20
COSAC - Construction et circulation des connaissances sur les services écosystémiques des sols en agriculture de conservation.....	22
EBISOL - Environnement, biopesticides et biotechnologie : quel rôle pour les sols ?.....	24
Ecosol – Les services écosystémiques rendus par les sols : analyse des régimes incitatifs sous-jacents.....	26
ECOSOLHYDRO - Intégrer la valeur épuratrice de sols hydromorphes dans leur usage - Quelles stratégies d'intervention sur les marchés fonciers ?.....	27
FAFF - Fonction Filtration d'un ouvrage urbain - Conséquence sur la Formation d'un Anthrosol ...	29
FloodScale - Observation et modélisation hydro-météorologique multi-échelle pour la compréhension et la simulation des crues éclairées.....	30
GENOSOIL-Fr - Approche métaGENOMique pour l'étude de la biodiversité totale du SOL - Application à l'évaluation des impacts anthropiques sur la biodiversité des sols des écosystèmes du Nord Ouest de la France.....	32
INCA - Spectroscopie proche infrarouge in-situ pour la comptabilité carbone : Développement d'un spectromètre portable à bas coût et d'outils chimiométriques pour déterminer le stock de carbone du sol directement au champ.....	34
JARDINS FAMILIAUX - L'utilisation des sols urbains et périurbains pour le développement durable des villes.....	36





LANDSOIL - Structure du paysage et conservation des sols sous des conditions évolutives d'occupation du sol et du climat..... 38

MODE RESPYR - Modélisations rétrospective et prospective des changements d'occupation des sols dans les Pyrénées..... 40

MULTIPOLSITE - Etude in situ et à long terme du devenir et des conséquences environnementales de la multipollution d'un sol 42

NO GAS - N2O - Mesure et modélisation en GrAndes culturesS..... 44

NormaSol - Recherches sur la protection juridique des fonctions et services du sol..... 46

PaléoSyr/PaléoLib - Paléoenvironnements et occupation du sol en Syrie occidentale et au Liban durant l'holocène..... 49

PROSTOCK - Effets de l'apport de produits résiduaire organiques sur le stockage de carbone, les émissions de gaz à effet de serre et la lixiviation du nitrate dans les sols agricoles périurbains 51

QUESACTES - Questionnaire sociologique sur la perception que les agriculteurs et les conseillers techniques ont des sols..... 53

RESACOR - Reconversion des Sols Agricoles Contaminés : impact des cultures à vocation énergétique sur la biodisponibilité des éléments en trace et relation avec la réponse des Organismes du sol..... 54

Réseau PRO - Réseau opérationnel d'essais au champ pour l'étude de la valeur agronomique et des impacts environnementaux et sanitaires des Produits Résiduaire Organiques recyclés en agriculture..... 56

SP3A - Préservation des sols viticoles méditerranéens et amélioration de leurs fonctions de régulation des flux d'eau et de matières associées : outils de modélisation pour le choix de pratiques adaptées 59

SpecBio - Indicateurs spectraux de qualité biologique des sols..... 61

TRACES - Les traits de la faune du sol pour relier les changements environnementaux aux fonctions du sol..... 63

Uqualisol-ZU - Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine - application du bassin minier de Provence 65

VitiEcoBioSol - Les sols de vigne vivants : comment gérer ce patrimoine à la base de la pérennité du vignoble de Champagne ?..... 67

Liste des participants..... 69





Le programme GESSOL





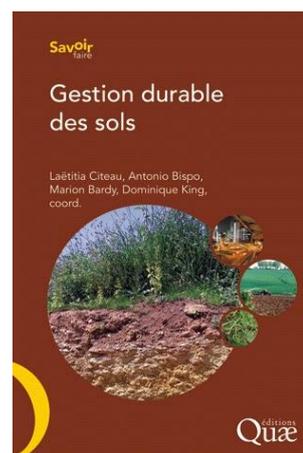
P R O G R A M M E



En réponse à la pression croissante exercée par l'homme sur les sols, le ministère en charge de l'Écologie a initié en 1998 le programme de recherche GESSOL "**Fonctions environnementales et GESTion du patrimoine SOL**". Cofinancé et animé par l'ADEME, ce programme a pour objectif de structurer une communauté de recherche sur la gestion des sols et ainsi de fournir aux décideurs publics et aux usagers des sols des connaissances et des outils opérationnels pour évaluer, surveiller, gérer, voire améliorer la qualité des sols, qu'ils soient naturels, agricoles ou urbains.

A ce jour, le programme GESSOL a contribué au financement de **46 projets de recherche**. Grâce aux contributions de son Conseil scientifique et de son Comité d'orientation, il a également participé à l'animation de la communauté scientifique au travers ateliers et de séminaires thématique. Il assure enfin la diffusion et la mise en discussion des résultats de la recherche par l'organisation de colloques, mais aussi par de nombreuses publications et documents de vulgarisation dont les plus récents sont présentés ci-dessous

Ainsi, l'ouvrage « **Gestion durable des sols** », publié aux éditions Quae en 2008 synthétise les résultats de 23 projets de recherche GESSOL financés entre 1998 et 2008. Il s'adresse tant aux spécialistes du domaine qu'aux enseignants, décideurs et gestionnaires des sols. Il fournit des connaissances nouvelles sur les différents types de dégradations constatées : érosion, tassement, contamination, perte de matière organique et biodiversité. L'ouvrage propose aussi des méthodes alternatives de gestion des sols destinées à préserver durablement leurs fonctions environnementales.



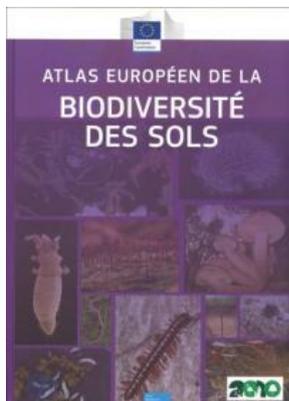
Un nouvel ouvrage de synthèse **Les sols: intégrer la multifonctionnalité au cœur de leur gestion durable** » sera lancé lors de la journée mondiale des sols, le 3 décembre 2015. Il mettra en perspective les résultats principaux des 22 projets

GESSOL présentés lors de ce colloque, projets retenus dans le cadre des appels à projets lancés en 2008 et 2009. De la mise en place d'indicateurs pour la planification urbaine à la mesure des stocks de carbone en passant par les instruments juridiques et économiques pour la protection des sols, l'ouvrage rassemblera aussi bien les dernières connaissances biotechniques que les avancées en matière de sciences humaines et sociales développées dans le programme GESSOL pour une gestion durable des sols. Les perceptions des sols d'une





large gamme d'acteurs du territoire y seront étudiées et mises en regard. L'importance de la gestion des sols dans les enjeux globaux que sont l'eau, la biodiversité et le changement climatique sera précisée et des leviers d'actions seront identifiés. Enfin, de nouvelles démarches et de nouveaux outils juridiques, économiques et biotechniques de préservation et de restauration des sols seront proposés.

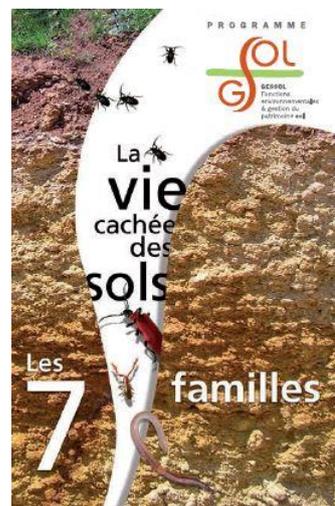


L'Atlas européen de la biodiversité des sols est le résultat d'un effort inédit initié par la Commission Européenne pour cartographier les dégradations et menaces pesant sur la biodiversité des sols dans l'Union Européenne. Rédigé par des scientifiques de renommée internationale, c'est un ouvrage pédagogique de référence, dont le Conseil scientifique du programme GESSOL a assuré la traduction en français. Les versions électroniques sont disponibles en téléchargement libre : <http://www.gessol.fr/atlas>. L'Atlas est également disponible dans les médiathèques des Centre départementaux de documentation pédagogiques et des Centre régionaux du réseau Ecole et Nature.

Le jeu de cartes **La vie cachée des sols** est destiné à un public de 8-12 ans. Grâce à 42 photographies commentées et un livret pédagogique illustré, ce jeu constitue un support pédagogique et ludique unique permettant de découvrir la diversité et le fonctionnement des organismes des sols. Il a été conçu par des scientifiques spécialistes de la biodiversité du sol pour introduire des notions fondamentales de systématique, de biogéochimie et d'écologie fonctionnelle telles que les réseaux trophiques ou le cycle des nutriments. Le jeu reprend de nombreuses illustrations de l'Atlas européen de la biodiversité des sols pour faciliter les liens entre l'information vulgarisée du jeu et les informations plus complètes et plus complexes figurant dans l'atlas.

Version électronique téléchargeable en ligne sur :

<http://www.gessol.fr/content/le-jeu-de-7-familles-la-vie-cach-e-des-sols>



De même que pour l'Atlas, plusieurs exemplaires du jeu sont également disponibles dans les médiathèques des Centre départementaux de documentation pédagogiques et des Centre régionaux du réseau Ecole et Nature.

Le site internet www.gessol.fr, dédié au programme, regroupe l'ensemble des documents liés aux projets (ex : résumés synthétiques et rapports complets) ou aux manifestations organisées (ex : présentations, compte rendus) mais également des dossiers thématiques et des avis émis par le Conseil Scientifique. Les présentations ainsi que les vidéos de ce colloque de restitution seront également mises en ligne prochainement.

Contacts :

- Camille GUELLIER, camille.gueller@ademe.fr, 02 41 20 46 32
- Antonio BISPO, antonio.bispo@ademe.fr, 02 41 20 43 07
- Jurgis Sapijanskas, jurgis.sapijanskas@developpement-durable.gouv.fr, 01 40 81 75 81





Liste des projets





ACV-Sol - Intégration dans l'Analyse de Cycle de Vie d'un indicateur d'impact des activités agricoles sur la qualité des sols

Porteur de projet : Michael CORSON (INRA Rennes)

Mots-clés : Qualité du sol, Erosion, Matière organique du sol, Tassement, Analyse du cycle de vie, Indicateurs
Période : 2009 – 2012

Le projet ACV-SOL du programme GESSOL 3 a développé trois indicateurs pour caractériser les processus de dégradation de la qualité des sols dans l'analyse du cycle de vie (ACV) : l'érosion, la diminution de la matière organique et le tassement. La quantification de ce dernier indicateur est novatrice et répond à l'attente de considérer les propriétés du sol dans le calcul de l'impact. Les données d'entrée pour le calcul de l'impact sur la qualité des sols comprennent des données de climat, de propriétés du sol et de pratiques culturales. Ces données alimentent les modèles de simulation RUSLE2, RothC et COMPSOIL pour estimer l'érosion, le changement en carbone du sol et le tassement, respectivement.

La méthode ACV-SOL a été appliquée à une étude de cas de la production d'un aliment pour des porcs produit en Bretagne avec neuf ingrédients (blé, triticale, pois, tourteau de colza, tourteau de soja, orge, maïs, mélasse, huile de soja) qui proviennent de trois pays (France, Brésil, Pakistan). Selon les calculs, chaque tonne d'aliment est associée à l'érosion de 102 kg de sol, à une perte nette de 41 kg de carbone du sol, et à une perte de volume de 27 m³. Ces impacts agrégés au niveau mondial peuvent être décomposés par culture et par ingrédient.

La méthode ACV-SOL donc offre un levier d'action sur les impacts et peut contribuer à la gestion raisonnée des sols agricoles et l'optimisation de l'ensemble des fonctions des sols pour répondre aux services attendus sur le plan écologique. Un seul indicateur d'impact sur la « qualité du sol » serait à considérer à l'avenir, qui nécessiterait l'agrégation de ces trois indicateurs physiques avec des indicateurs des impacts sur des propriétés biologiques et chimiques du sol.

Valorisations :

Garrigues, E., Corson, M.S., Angers, D.A., van der Werf, H.M.G., Walter, C. Development of a soil compaction indicator in Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 1316-1324

Garrigues, E., Corson, M.S., Angers, D.A., van der Werf, H.M.G., Walter, C., 2012. Soil quality in life cycle assessment: towards development of an indicator. *Ecological Indicators* 18, 434-442





AgrInnov- Mettre en place des outils opérationnels de type bio-indicateurs pour permettre aux agriculteurs d'évaluer l'impact de leurs pratiques sur la biologie de leur sol et la durabilité de leurs productions



avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
« Développement agricole et rural »

Porteurs du projet : E. Vérame (Observatoire Français des Sols Vivants, Domaine de Danne) et N. Chemidlin Prévost-Bouré (UMR 1347 Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Université de Bourgogne, Dijon)

Mots-clés : bio-indicateurs, agriculture innovante, grande culture, viticulture, formations, évaluation d'impacts, lombrics, nématodes, microorganismes, test-bêche, litter-bags

Période : 2012-2015

Le projet AgrInnov consiste à identifier, tester, valider et rendre utilisables pour l'ensemble des agriculteurs ces indicateurs de la qualité biologique des sols agricoles. Un travail en commun entre des chercheurs et des agriculteurs réunis dans une même équipe projet a permis d'identifier les bio-indicateurs (tableau de bord) mis en œuvre dans le projet sur la base de : 1) leur validation scientifique via des programmes de recherche ; 2) l'existence d'un référentiel d'interprétation pour la viticulture et les grandes cultures ; 3) leur capacité à intégrer des propriétés ou des processus écosystémiques, avec des résultantes dans les services intéressant les agrosystèmes ; 4) leur niveau d'opérationnalité sur le terrain et au laboratoire, afin d'être utilisés et interprétés par les agriculteurs et les agents du développement rural. A l'issue de ces travaux, les bio-indicateurs retenus étaient les communautés de lombrics, la nématofaune et les communautés microbiennes (bactéries et champignons) du sol. Ces bio-indicateurs ont été associés à des indicateurs agronomiques : propriétés physico-chimiques du sol, test-bêche (état structural du sol), litter-bags (dynamique et vitesse de décomposition de la matière organique). Après constitution d'un réseau national d'exploitations agricoles (249 EA) ciblant des exploitations en grandes cultures et en viticulture (50%/50%), les agriculteurs du réseau ont suivi une formation théorique et pratique pour mettre en œuvre les indicateurs eux-mêmes ou réaliser les prélèvements nécessaires aux analyses de laboratoire.

A l'issue des formations, près de 95% des agriculteurs du réseau ont mis en œuvre les indicateurs, indicateurs pour lesquels les résultats ont été retournés aux agriculteurs sous forme de fiche analytiques dans lesquelles chaque agriculteur retrouvait son résultat d'analyse confronté au référentiel d'interprétation associé à chaque indicateur. Aujourd'hui, les résultats sont en train d'être confrontés aux pratiques agricoles à l'échelle nationale pour permettre l'évaluation de l'impact environnemental de ces pratiques et par la même l'identification de pratiques innovantes permettant de préserver les ressources biologiques des sols dont les résultats seront communiqués tant dans des journaux scientifiques que dans des journaux spécialisés et lors du Colloque "Journées Nationales de l'Innovation Agricole". Le succès des formations mise en place dans le cadre du projet AgrInnov auprès des agriculteurs a incité les organismes partenaires à les déployer en leur sein. D'autre part, suite aux restitutions analytiques, les agriculteurs ont massivement exprimé leur volonté de prolonger l'action entreprise dans le cadre d'AgrInnov, ce qui va permettre de poser les bases d'un réseau national de veille à l'innovation agricole.

Site web : <http://www.ofsv.org/>





ANCRES - Mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif

Porteur de projet : Olivier Fouché (CNAM)

Mots-clés : Assainissement non collectif (ANC), Eaux usées, Filtration de l'eau

Période : 2010 – 2014

Contribuer par un projet scientifique à améliorer le pilotage des services rendus par le sol en assainissement non collectif (ANC) exigeait au préalable deux travaux préparatoires concernant la réglementation et le jeu des nombreux acteurs concernés. Le premier était une analyse historique et technique de l'évolution réglementaire de l'assainissement autonome depuis un siècle, et une rétrospective sur l'émergence de la nouvelle réglementation de l'ANC qui se met en place depuis 2009. Le second était une réflexion socioculturelle sur le cahier des charges que devrait respecter un outil scientifique pour être en mesure d'aider à l'élaboration d'une communauté d'acteurs. La satisfaction de ce double pré-requis a permis d'aborder de façon pertinente l'étude sociopolitique de la mise en œuvre de la nouvelle politique par le service public de l'ANC et ses usagers. L'analyse des conditions réelles, modalités et stratégies selon lesquelles les communes déploient leur compétence en la matière, démontre l'existence d'une méfiance entre les acteurs sur le rôle joué par les fonctions des sols et sur l'impact sanitaire et environnemental de l'ANC, méfiance qui trouve sa source dans un déficit de connaissance scientifique.

La préoccupation première du gestionnaire est de mieux évaluer la faisabilité de l'ANC sur son territoire. En complément du coût et de la technique, composantes classiques de la faisabilité, on aborde celle-ci par l'aptitude d'un site à l'ANC dans ses trois composantes – Sol, Parcelle, Usager – aptitude « SPU » qui nécessite la définition et l'intégration d'indicateurs. L'aptitude du sol à recevoir l'ANC est définie par les trois principales fonctions du sol à l'égard de l'infiltration des eaux usées – évacuation, épuration, rétention – et par le devenir des contaminants associé à ces fonctions : transfert au sous-sol, rejet à la surface du sol ou accumulation dans le sol. Un jeu d'indicateurs d'aptitude du sol est proposé, ainsi qu'une règle pour les combiner avec les caractéristiques de l'aptitude de la parcelle, en un système de notation des fonctionnalités du site. Ce système de notation s'applique sur tout site pour identifier les services qui peuvent être rendus à l'ANC par le sol du site – traitement des eaux usées, rejet superficiel ou rejet profond des eaux usées traitées, affinage des eaux usées traitées infiltrées – et en conséquence les types de dispositifs techniques possibles sur le site. La classe d'aptitude du sol et de la parcelle (SP) est ensuite conditionnée par la classe d'aptitude de l'utilisateur (U) à la gestion de l'ANC, d'après une note construite sur des indicateurs sociotechniques issus de questionnaires. L'arbre de décision proposé pour croiser ces classes constitue l'indicateur intégratif de l'aptitude SPU ou potentiel du site pour l'infiltration des eaux usées traitées en ANC.

Sous-jacente à la nouvelle gestion de l'ANC se trouve la question de l'impact de l'ANC sur les eaux et sur les sols, qui est la seconde préoccupation du gestionnaire. Parmi les sources de pollution diffuse, le rejet des eaux usées occupe une place de choix et malgré son ancienneté dans la société humaine, pose encore des questions non résolues en termes d'impact sanitaire et environnemental. Un meilleur pilotage des fonctions du sol nécessite, pour dépasser les clivages et les habitudes, une production de connaissance scientifique grâce à l'expérimentation sur les processus dans le sol. Au cœur du projet a donc été placé un site pilote d'ANC en conditions réelles, un filtre à sable non drainé, construit et instrumenté pour le suivi dynamique (tension dans le sol, teneur en eau) et chimique de l'eau usée infiltrée d'une parcelle habitée. Outre son apport original sur le fonctionnement hydraulique et physico-chimique de sols hétérogènes issus de formations superficielles telles qu'une colluvion, cette expérimentation a eu deux débouchés pour la recherche d'indicateurs : elle a révélé des indicateurs d'efficacité des fonctions du sol et des indicateurs d'impact des contaminants sur le sol, en étroite interdépendance ; elle a confirmé certains indicateurs d'aptitude du sol et en a révélé d'autres, comme la teneur en cailloux dans le sol qui favorise un mode d'écoulement préférentiel.





Le projet soutient finalement, en donnant des arguments et des outils tels qu'un guide pour l'intégration d'indicateurs, un système d'information géographique, une unité d'enseignement en formation à distance, trois recommandations : i) territorialiser l'action du service public d'ANC, i.e. l'adapter à la spécificité et à la collectivité de son territoire, en fonction de l'état actuel des sols, des parcelles et des usagers ; ii) améliorer l'aptitude à l'ANC dans ces trois composantes (SPU) ; et iii) poursuivre la production de connaissance sur l'impact de l'ANC sur les sols et les eaux. Ces trois pistes ouvrent la voie à une prospective pour l'évolution des règlements et des pratiques et la convergence de point de vue des acteurs.

Valorisations :

Nasri B., Fouché-Grobla O., Ramier D. (2015). Monitoring infiltration under a real on-site treatment system of domestic wastewater and evaluation of soil transfer function (Paris Basin, France). Environmental Earth Sciences (accepté en nov. 2014).

Bensalah A., Diebolt J., Fouché-Grobla O. Modélisation de l'anisotropie d'un réseau de discontinuités en 3D par un mélange de lois de probabilité. Canadian Geotechnical Journal (accepté avec modification en sept. 2013).

Fouché-Grobla O. Renaud St., Nasri B. Un cahier des charges pour l'outil scientifique au service de l'organisation territoriale participative : cas du SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux). Annales de Géographie (accepté avec modification en janv. 2014).

Communiquer et enseigner :

Fouché-Grobla O. 2011. L'objectif du projet ANCRES - La mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en ANC, Communication orale, 26-27 octobre, Metz. Assises nationales de l'ANC.

Berthier E., Ramier D., Nasri B., Fouché-Grobla O. L'évacuation par le sol des eaux usées traitées en ANC. Communication orale à la Journée d'études sur l'ANC, FNCCR, 31 mars 2014, Paris.

Equipe du projet ANCRES. Entre eau et sol, l'ANC. Séminaire de restitution du projet ANCRES, organisé avec le SPANC de la Régie des Eaux de Puisaye-Forterre. Auxerre, Cl. Gal de l'Yonne, 13-15 juin 2014. Avec les partenaires du projet, les gestionnaires et usagers. Animation des ateliers par les stagiaires du projet.

Fouché-Grobla O. et Nasri B. Création d'une UE de 6 ECTS ouverte au Cnam en oct. 2014 : formation à distance en collaboration avec AgroCampus Rennes (Ch. Walter, A. Jaffrézic, D. Michot, G. Pérès, B. Lemerrier).

Fouché-Grobla O. et Follin J-M. Un SIG-ANC en webmapping pour cartographier les indicateurs d'aptitude sol – parcelle – usager (SPU) en vue de la planification de l'ANC sur un territoire.

Fouché-Grobla O. Guide de construction et d'emploi de l'indicateur intégratif et système de notation d'aptitude sol – parcelle – usager (SPU) d'un site pour différents services rendus par le sol en ANC.





APOGEE - Les Archives Pédologiques, un Outil pour la Gestion des Ecosystèmes Nouvelles approches, limites temporelles et résolution écosystémique

Porteur de projet : *Dominique Schwartz (Université de Strasbourg, UMR 7362, Laboratoire Image, Ville, Environnement, UNISTRA/CNRS)*

Mots-clés : *Spectrométrie infra-rouge, Sites à fort intérêt écologique, Matières organiques des sols (MOS), Gestion des milieux, Biomarqueurs moléculaires lipidiques, Archives pédologiques, 14C*

Période : *2011 – 2013*

L'objectif général est de contribuer de façon significative au développement de l'utilisation des sols en tant qu'outil d'aide à la gestion écosystémique, en participant à l'amélioration de la connaissance des potentialités et des conditions d'utilisation des archives pédologiques.

Dans ce cadre, nous nous sommes focalisés sur les matières organiques des sols. En effet, celles-ci sont des constituants systématiquement présents. Elles sont majoritairement d'origine végétale, et bon nombre d'entre elles ont une signature spécifique des végétaux dont elles dérivent. Cette signature peut se conserver malgré les transformations qui ont eu lieu lors de l'humification. L'espérance de vie des matières organiques des sols est variable, selon leur nature biochimique, les conditions édaphiques (pH, activité biologique, composition granulométrique,...) et climatiques. Cependant, bon nombre d'entre elles ont une espérance de vie plurimillénaire dans les sols. L'ensemble de ces caractéristiques fait qu'elles permettent donc d'aborder directement la composition et la dynamique des formations végétales qui se sont succédées au cours du temps sur un sol. Au cours de ce projet, l'origine végétale de la matière organique des sols a été étudiée par l'intermédiaire de sa signature spécifique en spectroscopie proche infra-rouge et les résultats confrontés à ceux obtenus par l'étude des fractions lipidiques qui contiennent des molécules (lipides) qui peuvent être reliées à une origine végétale spécifique (marqueurs chimiotaxonomiques). Par ailleurs, celles-ci peuvent être datées (14C) afin de s'assurer qu'elles sont bien issues de formations végétales successives et anciennes et non de matières récentes transférées depuis la surface.

Le côté pionnier des recherches ne permet pas encore d'envisager des implications pratiques de grande ampleur. Les données obtenues sont encore lacunaires et il est donc impossible d'établir des lois « générales ». Ceci est notamment le cas pour les datations de composés individuels, dont le comportement diffère notablement selon les sols. En revanche, sur le plan méthodologique, en spectroscopie proche infrarouge, le fait d'avoir pu bâtir une base de données forêt-prairie-sols cultivés permet d'envisager des interprétations paléoenvironnementales plus fiables dans l'avenir sur les profils complets de sols en situation d'avoir été à un moment donné de leur histoire cultivés. Par ailleurs, les travaux effectués à partir de l'extrait lipidique des sols ont conduit à la mise au point de procédés analytiques applicables dans le futur dans le cas d'autres types de sols, permettant ainsi l'isolement de composés individuels à partir de mélanges complexes et donnant accès à la détermination de leur temps moyen de résidence.

Valorisations :

Trendel J.M., Schaeffer P., Adam P., Ertlen D., Schwartz D. 2010. Molecular characterisation of soil surface horizons with different vegetation in the Vosges Massif (France). Organic Geochemistry 41, 1036-1039.

Ertlen D., Schwartz D., Brunet D., Trendel J.M., Adam P., Schaeffer P. 2015. Qualitative near infrared spectroscopy, a new tool to recognize past vegetation signature in soil organic matter. Soil Biology & Biochemistry 82, 127-134.

Communiquer et enseigner :

Schwartz D., Froehlicher L., Schaeffer P., Ertlen D., Adam P., Bastien C., Courel B., Liaud C., Trendel J.M., Bernasconi S.M., Gierga M., Hadjas I. 2013. Les archives pédologiques, outils d'aide à la décision pour la gestion des milieux remarquables. Colloque de restitution APOGEE: le temps, les sols, la trajectoire temporelle des écosystèmes, Strasbourg.





BIOTECHNOSOL - Biodiversité et fonctionnement d'un Technosol construit utilisé dans la restauration de friches industrielles

Porteur de projet : Jérôme CORTET (Université Paul-Valéry Montpellier, UMR CEFE 5175, anciennement Université de Lorraine)

Mots-clés: Technosols, Organismes du sol, Fonctionnement du sol, Services écosystémiques, Friches industrielles, Restauration

Période : 2009 - 2012

Pour restaurer des zones polluées d'anciens sites industriels, il est possible d'utiliser des Technosols construits (USS Working Group WRB 2006), issus de process d'ingénierie environnementale. Ces Technosols sont constitués de matériaux qui sont habituellement considérés comme des déchets ou des sous-produits.

En collaboration avec le GISFI (Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Friches Industrielles, www.gisfi.fr), un consortium de biologistes du sol a été mis en place afin d'étudier un modèle de Technosol construit, in situ, sur une ancienne friche industrielle en Lorraine. Le Technosol étudié, mis en place en 2007, est constitué d'une couche de composts de déchets verts en surface, d'un mélange de terres industrielles traitées par désorption thermique et de boues de papeterie juste en dessous, et de boues de papeteries (chaulées ou non) en profondeur. La pédogénèse de ce Technosol a déjà été étudiée au cours de précédents projets et le Technosol a pu démontrer sa capacité à remplir un certain nombre de fonctions (Séré, Schwartz et al. 2008). La principale question du projet portait sur la capacité de ce Technosol à remplir un certain nombre de fonctions, habituellement décrites dans les sols naturels, particulièrement sa capacité à produire de la biomasse végétale, ce qui implique une restauration de la fertilité chimique et physique du sol. Notre hypothèse était que les organismes, par leur diversité et leur complémentarité fonctionnelle, sont des acteurs essentiels du système impliqués dans les processus physiques (agrégation, bioturbation) et chimiques (cycles du carbone et de l'azote). Dans ce contexte le projet visait à décrire la dynamique de colonisation du Technosol par les organismes et les effets sur différentes fonctions du sol.

Le groupe de travail mis en place pour ce projet comprenait des écologistes du sol spécialistes de différents groupes biologiques (bactéries et mycorhizes, nématodes, microarthropodes, macroarthropodes, lombriciens), d'agronomes, et de bio-physiciens du sol. Le prélèvement des échantillons a débuté en 2008 et s'est poursuivi jusqu'en 2011.

Les résultats obtenus de 2008 à 2011, mettent en évidence une dynamique correspondant à un système pionnier. Ainsi, la première année (2008) est caractérisée par la présence quasi unique de nématodes bactérivores et l'absence de macrofaune. Une communauté bactérienne similaire à une prairie classique est en place dès les premiers stades, mais les acteurs principaux du cycle de l'azote sont dominés par les bactéries et non les archées. Les mycorhizes sont présents sur le site. Par ailleurs les communautés de collemboles sont surtout influencées par les matériaux initiaux mis en place (composts), avec une colonisation progressive centripète à partir des bordures de la parcelle. Au cours du temps on constate une apparition puis une diversification des communautés de macrofaune, avec l'apparition de lombriciens, épigés essentiellement, en fortes abondances en 2011, ainsi que des nématodes, avec l'apparition de phytophages et prédateurs. D'un point de vue fonctionnel, on constate des dégagements de CO₂ corrélés aux densités bactériennes et biomasses végétales. L'évolution de la structure du sol est marquée, avec l'apparition d'agrégats organo-minéraux clairement d'origine biologique. Des processus de bioturbation par la macrofaune sont également observés au niveau des profils de sol. Par ailleurs, la production de biomasse végétale et la dynamique de décomposition de la matière organique sont similaires à celle d'un sol de prairie classique, ce qui conduit à l'apparition d'un horizon brumifère.





Ces résultats montrent que le recyclage de déchets et sous-produits peut permettre de reconstituer un sol similaire à un site naturel, même si après 4 ans le système est encore jeune et instable. Toutefois, les principaux groupes d'organismes du sol se sont installés, des micro-organismes aux ingénieurs, en passant par les décomposeurs, et les principales fonctions du sol, notamment la production de biomasse, semblent être remplies. Cette étude valide le process d'ingénierie de construction de sols qui permet un gain notable de ressources naturelles et d'énergie.



Figure 1 : Evolution du site. De gauche à droite : site avant réhabilitation, mise en place du Technosol en 2007, site en avril 2011.

Valorisations :

Hafeez F., Spor A., Breuil MC., Schwartz C., Martin-Laurent F., Philippot L. 2012. Distribution of bacteria and nitrogen-cycling microbial communities along constructed Technosol depth-profiles. *Journal of Hazardous Materials*, 231–232, 88–97.

Jangorzo N.S., Watteau F., Schwartz C. 2013. Evolution of the pore structure of constructed Technosols during early pedogenesis quantified by image analysis. *Geoderma* 207 – 208, 180 – 192.

Hafeez F., Martin-Laurent F., Béguet J., Bru D., Cortet J., Schwartz C., Morel JL., Philippot L. 2012. Taxonomic and functional characterization of microbial communities in Technosols constructed for remediation of a contaminated industrial wasteland. *Journal of Soils and Sediments* 12, 1396-1406.





CAPSOL - La gestion sociale du capital sol

Porteur de projet : Robert Lifran (DR INRA, UMR LAMETA, Montpellier)

Mots-Clés : acceptabilité sociale, capital sol, économie, économie des ressources naturelles, économie publique, externalités de stock, modèle de gestion optimale, services écosystémiques du sol, stockage du carbone

Période : 2011 2015

Le projet est organisé en trois volets complémentaires. Le premier volet théorique vise à définir un concept de capital naturel du sol, et à proposer des modèles de sa gestion durable. Le second vise à rechercher des instruments de politiques publiques pour la gestion durable du capital sol. Le troisième volet vise à éclairer les paradoxes de l'érosion, à en comprendre les sources dans les choix et les contraintes des agriculteurs. Elle propose une évaluation du risque érosif à l'échelle d'un sous-bassin versant dans le Lauragais.

Le « capital sol » est un concept économique, une grandeur qui sert à évaluer le flux de biens et services fournis par le sol considéré comme un écosystème. Il sert à guider les actions de gestion (exploitation, renouvellement, reconversion d'usage..) des acteurs privés et à élaborer des politiques publiques de conservation et d'allocation des usages.

Il est différent des composantes matérielles du sol (l'épaisseur de la couche arable, la texture et la structure, la teneur en matière organique etc.) tels que décrits par les sciences du sol. Les services fournis par le sol se décomposent en services de support à la production agricole ou forestière (fourniture de N, P, K), en services de régulation (stockage du carbone, régulation des crues, fourniture d'eau purifiée etc.) et en services culturels (paysages, forêts sacrées par ex.).

La plupart de ces derniers services sont non marchands et ont le caractère de biens publics. Leur valeur est donc une valeur pour la société, qui n'est pas spontanément prise en compte par les gestionnaires directs du sol (qui peuvent être des personnes physiques ou morales : agriculteurs, propriétaires forestiers privés, communes, agences gouvernementales). Ces derniers peuvent même gérer le sol en fonction de leur seuls revenus à court terme, et donc, soit créer des externalités négatives qui diminuent la valeur des autres services, soit épuiser les éléments du sol ce qui s'oppose à une gestion durable, et diminue la valeur du capital sol.

Les valeurs attachées à l'écosystème « sol » diffèrent donc selon les acteurs et les services pris en compte. Les marchés, notamment celui de la terre, lorsqu'ils existent, ne prennent en compte qu'une partie des valeurs, celles qui ont un intérêt direct pour les acteurs et gestionnaires privés. La valeur du capital sol ne peut donc être réduite à la valeur marchande de la terre. Pour apprécier la valeur sociale du capital sol, il faut intégrer également les valeurs non marchandes.

La question de la « capitalisation » des biens et services produits par l'écosystème du sol est cruciale, car pour évaluer les flux de biens et services, qui par construction s'étalent dans la durée, il faut utiliser un système de pondération qui permet de ramener chaque valeur instantanée dans le futur à son équivalent au jour de l'évaluation. C'est alors la somme de ces valeurs actuelles qui donne la valeur du capital sol. Actualisation et capitalisation sont donc les deux opérations normatives qui permettent d'élaborer la mesure du capital sol à partir des flux des services et des biens fournis par l'écosystème du sol. Les débats sur le changement climatique et le développement durable ont motivé une réflexion économique intense sur les différentes normes d'actualisation, et permettent de souligner la multiplicité des méthodes d'actualisation et donc celle des valeurs du capital « sol ». Il découle de ce qui vient d'être décrit que les valeurs du capital sol sont différentes selon les acteurs, et que la divergence entre les valeurs privées et les valeurs sociales induit la nécessité de politiques publiques pour réguler les usages et pour rétablir une cohérence entre les valeurs privées et sociales que les marchés ne peuvent réaliser par eux-mêmes.





CAPSOL développe une analyse de la gestion du capital naturel à long terme, dans la perspective de l'agriculteur, et montre l'intérêt de la recherche des états stationnaires et des trajectoires optimales pour les atteindre à partir de différentes situations initiales. Nos résultats montrent que les états économiquement optimaux des stocks minéraux et organiques dépendent des prix relatifs des engrais et des états initiaux des sols. Si les premiers s'imposent de façon générale, les seconds sont très variés. Les trajectoires, définies par rapport à des successions de pratiques agronomiques, pour les atteindre sont donc elles-mêmes variées.

La conception de politiques publiques pour la conservation et la gestion durable du capital sol doit composer avec cette diversité. La gestion du capital sol possède en effet deux dimensions, l'une qui est privée (souvent fortement influencée par les politiques agricoles), et l'autre qui est en relation avec l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes et la fourniture de services (ou disservices) environnementaux). Parmi les services fournis par le sol on peut distinguer ceux qui sont liés aux stocks (en particulier de matière organique) et ceux qui sont liés aux flux (équilibre séquestration/émissions de dioxyde de carbone par ex.). Dans la perspective d'une gestion durable, il est difficile de poursuivre simultanément l'optimisation des services liés au stock et ceux liés au flux. En mettant l'accent sur les arbitrages entre services, nous soulignons les risques de biais liés à la mise en oeuvre des politiques publiques portant sur un seul des services ainsi que la nécessité de la coordination des politiques publiques impliquées directement ou indirectement.

Dans la troisième partie de CAPSOL, nous développons d'abord une méthode d'analyse spatiale du risque érosif, fondée sur le concept d'entité paysagère à risque érosif (EPARE). Cette approche géographique simple permet de transformer l'érosion diffuse en érosion ponctuelle et donc de cibler les zones prioritaires. En s'appuyant sur les enquêtes réalisées auprès des agriculteurs dans le bassin versant de la Lèze, nous soulignons l'intérêt de l'instrument réglementaire pour les inciter à changer leurs pratiques et à adopter des méthodes efficaces de conservation des sols. L'efficacité des mesures de couverture des sols pendant la période à risques (de l'automne au printemps) est mesurée à l'aide du modèle bio-physique STREAM. Nous proposons en conclusion des pistes de recherche pour utiliser de façon complémentaire le modèle CAPSOL et le modèle STREAM.

Le projet s'appuie des collaborations étroites les chambres consulaires, régionales et départementales, les agriculteurs et leurs coopératives, ainsi que les collectivités locales concernées dans le bassin Versant de la Lèze.

Valorisations :

Lifran R., Hofstetter A., Balarabé O., Tidball M., 2015. *A simple bio-economic model of soil's natural capital*, Soumis à *Environmental and Resources Economics*

Lifran R., Hofstetter A., Balarabé O., Tidball M., 2014. *A simple bio-economic model of soil's natural capital*, *Communication to the World Congress of Environmental and Resources Economics, Istanbul, July*

O. Balarabé, R. Lifran, T. Ollivier, 2012. *Le capital sol et son intérêt pour les politiques publiques*. *Communication aux 11^e Journées d'étude des sols, « Le sol face aux changements globaux », 19-23 Mars 2012, Versailles*

C. Calvet, A. Hofstetter, R. Lifran, 2012, *L'érosion hydrique et le capital sol*, *Communication aux 11^e Journées d'étude des sols, « Le sol face aux changements globaux », 19-23 Mars 2012, Versailles*

O. Balarabé et R. Lifran, 2013, *Capital Sol et arrangements institutionnels dans les agrosystèmes du Nord-Cameroun*, thèse, *SupAgro et Université de Montpellier I*





CESAT - Vers une gestion durable des sols-support des espaces verts : maintien et développement des fonctions et services - Exemple de l'Agglomération Tourangelle

Porteur de projet : Didier Boutet (UMR 6173 CITERES (CNRS-Université de Tours))

Mots-clés : Espaces verts, Biodiversité, Paysage, Milieu urbain, Acteurs, Indicateurs, Réglementation, Usages, Représentations

Période : 2010 – 2013

Face aux phénomènes d'urbanisation et de périurbanisation croissants, la recherche qui, jusque-là, s'est concentrée principalement sur les sols agricoles, viticoles, forestiers commence à traiter les sols des espaces urbains, lesquels constituent également des milieux complexes, évolutifs, vivants, très hétérogènes, pour lesquels il importe de mieux connaître le fonctionnement.

Les travaux de recherche menés jusqu'à présent ainsi que le contexte particulier des espaces verts nous amène au fait qu'une recherche consacrée aux sols urbains supports d'espaces verts (publics et privés) implique la mise en œuvre d'une démarche pluridisciplinaire liée à la diversité de leurs fonctions, de leurs fonctionnements, de leurs usages et de leur gestion (CLERGEAU, 2007). Dans cette perspective, il est utile de croiser le regard de spécialistes des sols (pédologues, biologistes, agronomes...) avec celui des géographes, aménageurs, sociologues, juristes...

Il ne s'agissait pas pour l'équipe de recherche de juxtaposer des analyses, certes différentes mais ancrées dans chaque disciplines, mais plus encore de faire ressortir ce qui dans chaque discipline peut apporter une contribution positive à la gestion durable des sols supports des espaces verts. Ainsi, si pour le sociologue, le mode de fréquentation des espaces verts est déterminant pour avancer une typologie, le pédologue lui s'appuiera sur la nature des sols. C'est le croisement des deux points de vue qui pourra déboucher sur un type d'identification transversal à ces deux approches, que le géographe situera dans un territoire particulier, une agglomération, et que l'aménageur intègrera dans le fonctionnement général de la cité.

De par son caractère pluridisciplinaire, plusieurs méthodes emboîtées ont été utilisées dans cette recherche :

- 1- L'analyse paysagère : Elle a couplé une approche de l'espace vert dans son contexte (lien avec le grand paysage, la trame verte et bleue) avec une analyse plus détaillée qui intègre différentes composantes de l'espace vert (milieu biotique et abiotique, aménagement, histoire et gestion). Ceci afin de disposer d'éléments pour analyser l'évolution des espaces verts et évaluer les qualités paysagères et de cadre de vie.
- 2- La biodiversité entomofaune comme indicateurs de la durabilité. La première étape a consisté en l'élaboration d'un inventaire des pratiques des jardiniers au sein de chaque parc. Le questionnaire a permis de déterminer une note de préservation et qualité potentielle des sols et de la biodiversité en arthropodes (Parmi les plus importants, on trouve le travail du sol, l'utilisation de pesticides, le type de gestion ...etc.). La seconde grande étape de la cette tâche a été l'étude des arthropodes (= insectes + araignées en ce qui concerne cette étude). En effet ceux-ci sont d'excellents indicateurs de biodiversité et sont globalement assez facile à piéger.
- 3- Analyse des services rendus à la société par les sols. La méthodologie consiste en enquêtes ethnosociologiques de terrain : (1) Observations répétées des espaces des parcs et jardins de l'échantillon. Les différents usages et les publics associés ont été inventoriés en périodes estivale, hivernale et intersaison et ont fait l'objet de prises de vue photographiques dont une partie a été mobilisée pour illustrer l'analyse. Les règlements (horaires d'ouverture, restriction de circulation...); les éléments de signalisation et de communication ont été répertoriés et mis en perspective avec les pratiques réelles. (2) Entretiens qualitatifs informels auprès des usagers des parcs et jardins de l'échantillon. La technique de l'entretien informel est la plus adaptée pour aborder le thème du sol, qui reste un impensé pour les usagers. Une cinquantaine d'entretiens d'environ 15-20 minutes ont été





menés. (3) Entretiens qualitatifs approfondis auprès des propriétaires, gestionnaires et techniciens en charge de l'entretien des espaces verts concernés. Les analyses portent sur 14 entretiens dont la moitié concerne des propriétaires et gestionnaires des parcs et jardins.

- 4- Analyse de la population de micromammifères Nous avons réalisé une série de capture de micromammifères dans les espaces verts. A cause de la nature publique des sites observés, les pièges utilisés n'ont pu être posés en lignes régulières. Les cages ont été disposées selon des transects qui s'adaptent à l'architecture interne des espaces verts (pose de cages dans des îlots de verdure peu accessibles ou peu fréquentés par le public), mais aussi camoufler les pièges pour limiter le risque de vol.

Nous avons ainsi pu définir deux grandes catégories de jardins :

- Les jardins à vocation ornementale : l'espace est maîtrisé, domestiqué, la composition végétale est travaillée en fonction de critères esthétiques. L'effort est donc concentré sur le contrôle des plantes et le sol est essentiellement pris en compte dans sa relation avec celles-ci. Il apparaît alors comme un substrat qu'il convient de faire varier au regard du végétal qui viendra s'y implanter.
- Les jardins à vocation « naturelle » : ils incarnent les évolutions en cours avec le développement de milieu « plus naturels », moins standardisés. Les compositions végétales sont travaillées en fonction de la relation sol/plante/climat. Le sol commence à être considéré sous l'angle de la ressource, et pas seulement comme un facteur limitant.

Valorisations :

Oillic P., Yengué J.-L., Guénié A. 2012. Le jardin individuel au coeur des enjeux fonciers et écologiques dans une métropole régionale: le cas de Tours en France. VertigO, 12-2, 30p.

Boutet D., Serrano J. 2013. Les sols périurbains, diversification des activités et des valeurs. Quelques éléments de comparaison et d'analyse. Economie Rurale, 338, 20p.





COSAC - Construction et circulation des connaissances sur les services écosystémiques des sols en agriculture de conservation

Porteur de projet : Hélène Brives (ISARA Rhône-Alpes)

Mots-clés : Agriculture, Recherche, Production de connaissances, Dispositifs collectifs, Interdisciplinarité, Enquête qualitative, Analyse lexicométrique

Période : 2010 – 2013

L'émergence de la notion de « service écosystémique » constitue une intrusion de la société et du politique dans le laboratoire des chercheurs et sur les parcelles des agriculteurs. Ancré en sociologie des sciences, COSAC s'intéresse à ces interactions entre science et société autour du ou des sols agricoles.

Cette communication présente l'analyse des interactions entre des scientifiques des sciences du sol et des profanes dans le cadre d'un projet de recherche (ANR PEPITES¹), centré sur l'agriculture de conservation (AC)². PEPITES constitue un observatoire intéressant des débats actuels sur le sol parce qu'il associe des chercheurs de plusieurs disciplines des sciences des sols avec des chercheurs en sciences sociales, des agronomes et des représentants de collectifs d'agriculteurs pratiquant l'AC. Nous utilisons ici le terme « profane » dans le sens que lui donne la sociologie des sciences c'est-à-dire « d'extérieur à la recherche », pour désigner ici ceux qui sont extérieurs aux sciences du sol, c'est-à-dire soit des scientifiques d'autres disciplines soit des représentants d'agriculteurs experts de l'agriculture de conservation. Les profanes dans notre cas peuvent donc avoir beaucoup à dire sur les sols. La participation de quatre représentants d'agriculteurs est intéressante dans la mesure où les collectifs de l'AC qu'ils représentent ont à plusieurs reprises montré leur désapprobation par rapport à la façon dont les organismes de recherche français abordaient (ou n'abordaient pas) les questions liées au sol.

La sociologie des sciences propose un cadre pertinent pour analyser les relations entre scientifiques et profanes autour de l'objet « sol ». La production de connaissances scientifiques est envisagée comme une série de processus de « traductions » organisées en trois temps (Callon et al., 2001) :

- Traduction 1 – Un processus de simplification du monde qui consiste à réduire l'objet à étudier afin de pouvoir le transporter et le manipuler au laboratoire.
- Traduction 2 – Au sein du laboratoire, l'organisation d'un collectif de recherche (c'est-à-dire des chercheurs et de leurs équipements) capable de « faire parler » les réductions du monde introduites au laboratoire. Le laboratoire est une sorte de machine à fabriquer des inscriptions (ou traces produites par des instruments) puis à les interpréter pour les mettre en mots.
- Traduction 3 – Retour du laboratoire vers le monde. Ce processus pose la question des alliances que le scientifique peut nouer.

Le matériau d'analyse est tiré de l'observation des réunions liées au projet de recherche PEPITES et de la réalisation d'entretiens semi-directifs avec l'ensemble des 15 chercheurs impliqués ainsi que la visite de leurs laboratoires.

Nos résultats montrent que le processus de réduction du sol pour le transporter au laboratoire et le manipuler (traduction 1) suscite le maximum de débats entre scientifiques et profanes. L'enjeu de ces débats est le choix

¹ PEPITES : Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Techniques et Sociales en agriculture de conservation. Pour plus d'informations cf. <http://www.projet-pepites.org/>

² L'agriculture de conservation (AC) est définie par la FAO autour de la mise en œuvre de trois grands principes: (1) une perturbation minimale du sol, (2) une protection du sol via le maintien d'une couverture végétale permanente en surface, (3) une diversification des rotations et des associations de cultures.





du « bon représentant du sol » pour être mis en expérimentation. Pour les scientifiques il est fondamental que le sol soit suffisamment réduit, simplifié pour être transportable et manipulable au laboratoire. Les profanes posent la question : ce sol réduit, simplifié peut-il encore représenter le sol ? C'est dans ces débats sur la réduction et le transport du sol que se jouent les possibilités ultérieures de sortie du laboratoire (traduction 3). Il est important que les profanes soient convaincus de la qualité du représentant choisi sinon ils ne s'intéresseront pas ou n'accepteront pas ce que ce représentant pourra dire du sol à l'issue de ces expérimentations. Il y a donc un enjeu à trouver un accord sur la qualité du représentant entre scientifiques et profanes.

Le sol agricole apparaît dans ces débats comme un objet construit dans ses liens avec d'autres entités, le climat, la culture et les techniques culturales conduites par un agriculteur. Chaque réduction du sol revient à le couper d'un certain nombre de ces liens. Les processus écologiques étudiés se situent la plupart du temps à l'interface entre ces différentes entités et commandent en grande partie les choix dans les réductions opérées. Nous avons pu mettre en évidence un gradient de simplification du sol entre les différentes disciplines scientifiques engagées dans le projet PEPITES. Il est intéressant de noter que les réductions les plus fortes ne sont pas toujours celles qui engendrent le plus de critiques de la part des profanes.

Valorisations :

Cardona A, L'introduction de la notion de « service écosystémique » : pour un nouveau regard sur le sol ?, Colloque SFER Journées des Sciences Sociales, 13-14 décembre 2012, Toulouse.

Hellec F., 2013. Etudier la vie du sol : affaire d'agriculteurs, affaire de scientifiques. Communication au séminaire du laboratoire RITME, Ivry-sur-Seine, le 6 décembre 2013.

Hellec F., 2014. Les services écosystémiques des sols agricoles: l'apparition d'une nouvelle notion dans le champ des sciences du sol. Communication au séminaire du laboratoire ASTER, Mirecourt, 24 avril 2014.





EBISOL - Environnement, biopesticides et biotechnologie : quel rôle pour les sols ?

Porteur de projet : Roger Frutos (CIRAD, EPIC, UMR 17: Trypanosomes)

Mots-clés : Plantes génétiquement modifiées, Devenir des protéines Cry insecticides dans le sol, Biopesticides

Période : 2011 – 2014

L'objectif général de ce projet est de mieux comprendre le devenir des protéines insecticides issues de *Bacillus thuringiensis* dans les sols dans le but de prévoir leurs effets à long terme et de renseigner des stratégies de monitoring. Une question très importante qui doit être adressée en priorité est centrée sur la pertinence et la validité des tests immunochimiques pour la surveillance environnementale. Ces tests sont plus rapides et plus faciles à mettre en œuvre que des tests de toxicité, et sont par conséquent préférés pour les surveillances in campo. Néanmoins, une protéine (ou des résidus de cette protéine) peut être détectée par un test immunochimique, sans pour autant avoir gardé son caractère insecticide. Nous proposons donc de comparer la détection des protéines par biotest basé sur leurs propriétés insecticides et par extraction chimique suivie de détection immunochimique. Nous ferons cette comparaison pour plusieurs couples protéine-sol pour dégager des tendances sur la nature de la protéine (est-ce que les protéines Cry de différentes classes se comportent de façon similaire ?) et la nature physico-chimique des sols (est-ce que l'interaction est déterminée par la minéralogie du sol). Notre hypothèse est que la nature des surfaces organo-minérales des sols va déterminer les modifications de conformation des protéines, et donc le maintien ou non des propriétés insecticides des protéines.

Il ne suffit pas de détecter les protéines dans le sol, il faut aussi connaître la cinétique de perte d'activité en fonction du temps, et en relation avec les propriétés du sol et de son activité biologique. Notre hypothèse de travail est que la persistance des protéines Cry dépend à la fois de leur interaction avec les surfaces organo-minérales du sol qui détermine l'évolution des changements de conformation et confère une protection contre l'activité catalytique des protéases du sol. Nous allons donc étudier la persistance de quelques protéines Cry en fonction de divers sols et de leur activité protéasique. En particulier, nous supposons que l'activité de la faune du sol, influe sur l'activité protéasique, et nous allons prendre les vers de terre comme modèle de faune de sol.

Nous allons comparer des protéines produites par des plantes génétiquement modifiées qui sont actuellement commercialisées, et des protéines produites par des souches sauvages utilisées dans des formulations de biopesticides. Cette comparaison est importante, car seul un très petit nombre de protéines Cry sont actuellement produites par des plants GM, mais ce nombre va croître et il sera essentiel de s'appuyer sur des bases scientifiques pour extrapoler des propriétés entre classes de Cry. Cette étude comparative expérimentale sera renforcée par des efforts de réflexion et de formation centrés sur les différences et les similarités entre les protéines Cry d'origine différentes (culture GM et biopesticides).

Pour résumer, les questions que nous posons sont

- la détection immunochimique des protéines Cry dans les sols informe-t-elle sur leur toxicité ?
- quelles propriétés physicochimiques des sols déterminent les modifications de conformation qui résultent en perte de toxicité à l'état adsorbé ?
- quelles propriétés physicochimiques et biologiques des sols déterminent la persistance des protéines et leur toxicité à l'état adsorbé ?
- quelles sont les différences et les similarités entre les protéines Cry (culture GM et biopesticides) ?





- quelles sont les différences réelles et perçues des protéines produites par des cultures GM et les souches sauvages de *B. thuringiensis* ?

Valorisations :

Staunton S., Truong Phuc H., LeVan T., Frutos R., Quiquampoix H. *Is the decline in detectable Bt protein (Cry1Ac and Cry2A from Bacillus thuringiensis) in soil due to microbial breakdown or chemical fixation? 21st International Symposium on Environmental Biogeochemistry (ISEB), October 13-18, 2013, Wuhan, China*

Staunton S., Truong Phuc H., LeVan T., Frutos R., Quiquampoix H. *Affinity and fate of insecticidal protein (Cry1Ac and Cry2A from Bacillus thuringiensis) in soil. 20th World Congress of Soil Science (WCSS), Jeju, Korea, 8-13 June 2014.*

Staunton S., Truong Phuc H., LeVan T., Frutos R., Quiquampoix H. *ISMOM, Montréal, Canada, 6-10 juillet 2015.*





Ecosol - Les services écosystémiques rendus par les sols : analyse des régimes incitatifs sous-jacents

Porteur du projet : Gilles Grolleau (Montpellier SupAgro – LAMETA Bat. 26)

Mots clés : biais, comportement, éviction, incitations monétaires, sols, statut.

Période : 2009-2013

Le sol rend de nombreux services aux communautés humaines, dont la valeur est considérable. Néanmoins, les activités humaines perturbent et affectent souvent négativement ces services en provoquant des détériorations sur les plans quantitatif et qualitatif. Le projet ECOSOL démarre du constat que le comportement humain est souvent à l'origine des perturbations affectant les sols et qu'en conséquence, il est nécessaire de mieux comprendre les déterminants de ce dernier afin de pouvoir l'influencer. Le projet vise une meilleure compréhension de ces déterminants afin d'envisager des modalités concrètes susceptibles de maintenir, voire de renforcer la fourniture de ces services, et ce tout en se situant dans un contexte de fortes contraintes budgétaires.

De manière très concrète, nous mobilisons l'économie néo-institutionnelle pour comprendre les facteurs permettant l'émergence de solutions contractuelles entre les agriculteurs et les municipalités pour la fourniture du service d'épuration et de traitement des eaux. Grâce à l'étude détaillée de deux cas (Munich et New York), nous tirons plusieurs leçons pratiques susceptibles de faciliter l'émergence de ces accords décentralisés comme la structure de marché monopsonique, la présence de structures institutionnelles crédibles et la capacité à transformer les bénéficiaires de ces services rendus par les sols en supporteurs et payeurs. De plus, une partie importante du projet est consacrée aux apports de l'économie comportementale afin d'expliquer le décalage entre les promesses des instruments des politiques visant une gestion plus durable des sols et les résultats réels. Cette analyse repose sur un modèle du comportement humain alternatif qui utilise des raccourcis mentaux et des processus heuristiques dans la prise de décision, en contraste avec le modèle purement rationnel de maximisation d'une fonction objective sous contraintes. Ce modèle de comportement permet de générer des préconisations originales en termes de politiques.

Plusieurs biais sont ainsi étudiés en rapport avec les politiques liées aux sols. Nous explorons le rôle des considérations de statut et de position qui interfèrent avec le seul calcul économique et qui peuvent pousser les agents à refuser certaines innovations pourtant profitables et environnementalement préférables à cause de leur impact négatif sur leur statut dans un certain groupe de référence. Nous montrons également que le recours systématique à des (des) incitations monétaires pour encourager (ou décourager) des comportements préférables peut générer un effet d'éviction des motivations préexistantes. Pour éviter ce risque, nous proposons un mécanisme original permettant d'utiliser au mieux les motivations hétérogènes au sein d'une population donnée. Nous montrons également que la qualification et l'origine perçue des éventuelles incitations financières ne sont pas neutres et peuvent significativement affecter leur capacité à générer le comportement recherché. Nous mettons également en évidence que le soutien à une politique donnée en faveur des sols au-delà des bénéfices escomptés peut être lié à l'origine attribuée aux perturbations et aux points de référence. Ainsi, nous démontrons que des éléments de contexte considérés a priori comme mineurs peuvent influencer de manière significative les performances des politiques environnementales et constituer des leviers d'action prometteurs.

Valorisations :

Beretti A., Figuières C., Grolleau G. 2013. Behavioral innovations: The missing capital in sustainable development?. Ecological Economics, 89, 187-195.

Grolleau G., McCann L. 2012. Designing watershed programs to pay farmers for water quality services: Case studies of Munich and New York City. Ecological Economics, 76, 87-94.

Salhi S., Grolleau G., Mzoughi N., Sutan A. 2012. How can positional concerns prevent the adoption of socially desirable innovations? Journal of Economics Issues, 46, 799-810.

Beretti A., Figuières C., Grolleau G. 2013. Using money to motivate both "saints" and "sinners": a field experiment on motivational crowding-Out. Kyklos, 66, 63-77.





ECOSOLHYDRO - Intégrer la valeur épuratrice de sols hydromorphes dans leur usage - Quelles stratégies d'intervention sur les marchés fonciers ?

Porteur de projet : Elsa Martin (AgroSup Dijon, UMR 1041 CESAER)

Mots-clés : Compensations financières, Coûts de protection des zones humides, Fonction de régulation de la qualité de l'eau des sols (FRQES), Indicateurs, Marchés fonciers, Méthode des prix hédoniques

Période : 2010 – 2013

Pour atteindre les objectifs fixés par la réglementation européenne en termes de qualité de l'eau, les gestionnaires locaux doivent agir activement au niveau de la source des pollutions et dégradations. Le problème est qu'il est bien souvent difficile d'identifier de manière certaine les responsables des nuisances. Une des solutions envisagées en pratique consiste à intervenir sur les marchés fonciers en hiérarchisant puis ciblant des zones dites « humides » afin de mieux encadrer et potentiellement contraindre les pratiques actuelles (principalement agricoles mais aussi résidentielles, industrielles, etc.). Ce sont, bien souvent, des syndicats ou autorités responsables de la ressource en eau qui adoptent de telles stratégies avec pour objectif principal la préservation de la fonction de régulation de la qualité de l'eau des sols (FRQES).

Nous proposons dans ce projet d'établir et de rendre opérationnel un cadre de décision pour la protection de la FRQES à l'échelle départementale ou infra départementale (bassins versants). En France, l'arrêté du 24 juin 2008 (modifié le 1er octobre 2009) précise les critères de définition et de délimitation des zones humides. Les indicateurs pédologiques y tiennent une place majeure, à côté des indicateurs de végétation. C'est sur cette base que les autorités responsables de la politique de l'eau et les organismes en charge de la protection des zones humides sont censées sélectionner les parcelles à protéger. Mais, appliquée à un département comme la Côte-d'Or, une telle stratégie concerne potentiellement une très grande partie des terres agricoles. Si, comme observé en pratique, la protection est synonyme de compensations financières ou d'achat de parcelles, le coût de la protection prend une place primordiale. Du fait de l'existence de contraintes budgétaires, la préservation passera nécessairement par une hiérarchisation des zones à réglementer sur la base d'une comparaison entre les gains environnementaux et les coûts économiques. Mais comment estimer ces gains et coûts ? L'aspect pluridisciplinaire de ce projet ECOSOLHYDRO lui donne un caractère essentiellement exploratoire.

Nous avons choisi de nous focaliser sur deux types de stratégies. La première peut être qualifiée de curative dans la mesure où elle vise à racheter des terres identifiées comme étant des zones humides afin de préserver leur FRQE. Nous nous concentrons sur les terres agricoles en faisant l'hypothèse que ce sont les terres qui nécessitent les coûts les plus faibles pour restaurer la FRQES. Cette stratégie vise en fait à modifier l'usage qui est fait du sol dans la mesure où elle vise à passer d'un usage agricole à un usage de préservation. La seconde stratégie est plus préventive dans la mesure où elle consiste à explorer les possibilités d'action à la source des pollutions, c'est-à-dire sur les pratiques agricoles. Ces deux stratégies étant dissociées, nous avons choisi de les traiter séparément. Ce choix nous a permis d'explorer la FRQES du point de vue de deux polluants distincts que sont les nitrates et les produits phytosanitaires.

La première stratégie d'intervention consiste à sélectionner des zones humides à racheter pour préserver la FRQES du point de vue des nitrates. Elle se décline en trois sous-objectifs. Le premier vise à identifier et spatialiser des zones humides potentielles sur la base de critères biophysiques et hydrologiques. Le travail a essentiellement été réalisé par des spécialistes en sciences du sol. Le second sous-objectif vise à hiérarchiser les zones humides potentielles sur la base de leur efficacité du point de vue de l'assimilation des nitrates. Ce sont essentiellement les hydro-chimistes qui ont été mis à contribution à ce stade. Le troisième sous-objectif vise à hiérarchiser les zones humides potentielles sur la base de leur coût d'achat. Le travail a essentiellement été réalisé par des économistes et géographes.





La seconde stratégie d'intervention consiste à agir sur les pratiques agricoles en matière d'utilisation de pesticides. Dans ce cadre, nous avons choisi de nous concentrer sur une technologie de production particulière en matière d'utilisation de pesticides : la Protection Intégrée des Cultures (PIC). Le premier sous-objectif général à ce stade était de définir précisément les technologies de production de PIC agronomiquement envisageables sur un bassin versant particulier. Le second sous-objectif était d'analyser les effets de l'adoption de ces technologies de production préalablement définies sur la qualité de l'eau dudit bassin versant. Le troisième sous-objectif était relatif aux déterminants économiques de l'adoption d'une technologie de PIC. Ce dernier a été appréhendé sous l'angle de la théorie économique ainsi que sous un angle agro-économique plus appliqué.

Valorisations :

Martin E. 2012. Potential of artificial wetlands for removing pesticides from water. Environmental Economics, Volume 3, Issue 1.

Les documents techniques (fiches, brochures et articles) :

Grivault C. 2012. Diagnostic du potentiel d'utilisation de l'enquête Pratiques Culturelles dans le cadre d'ECOSOLHYDRO. Miméo, 18p.

Grivault C. 2012. Fusion de données du RPG et de la BD Topo pour la constitution d'une couche d'information sur l'occupation du sol. Miméo, 5p.

Cognet C. 2011. Identification et délimitation des zones humides potentielles de Côte-d'Or sur la base de critères pédologiques. Compte-rendu d'activité, 15 p..

Grivault C. 2012. Intégration de données biophysiques et socio-économiques pour la prédiction des prix des terres agricoles. Miméo, 20p.

Grivault C. 2012. Traitement du Registre Parcellaire Graphique (RPG) pour la spatialisation des usages agricoles des terres. Miméo, 15p.





FAFF - Fonction Filtration d'un ouvrage urbain - Conséquence sur la Formation d'un Anthropeol

Porteur de projet : Thierry Winiarski (LEHNA – ENTPE)

Mots-clés : Bassin d'infiltration d'eaux pluviales, Filtration des polluants, Fonctions filtration des sols, Grand Lyon, Indicateurs, Modélisation, Qualité des sédiments urbains

Période : 2010 – 2014

L'aménagement des villes peut avoir des conséquences irréversibles sur la durabilité des sols car il tend à son élimination pure et simple. L'effet qui en découle est une imperméabilisation et un ruissellement qu'il faut compenser par des systèmes d'assainissement d'eaux pluviales. Parmi ces différentes techniques, les bassins d'infiltration constituent un compromis en rétablissant le cycle de l'eau. Mais ces techniques posent deux types de problèmes : i) l'accumulation en surface de polluants qui, à terme, avec la formation géologique support (essentiellement des alluvions) forme, un sol pollué ; ii) la migration de polluants non retenus et/ou relargués par la couche de surface peut avoir un impact sur la qualité des eaux souterraines. La « fonction épuratrice » basée sur la « fonction filtration » de ces sols est alors souvent mise en avant. Ce projet vise donc à améliorer les connaissances de la fonction de filtration d'un tel milieu avec comme conséquence la formation d'un anthropeol.

L'étude spécifique d'un bassin d'infiltration dans une zone industrielle, ainsi que les données obtenues sur 19 autres bassins d'infiltration situés sur la plaine fluvioglaciale de l'Est Lyonnais, ont permis le recueil d'une masse importante et originale de données. Les principaux résultats montrent i) un rôle important de l'hétérogénéité des formations autochtones sur la répartition des polluants, ii) une signature urbaine globale des sédiments de surface, et ce, quel que soit le type d'activité humaine sur le bassin versant associé, iii) que les méthodes géophysiques utilisés (GPR, ERT) peuvent être de bons outils d'évaluation des hétérogénéités d'écoulement, iv) que la modélisation, en condition non saturée, confirme les observations relatives aux écoulements préférentiels.

Ces travaux ont donné lieu à quelques recommandations en direction des aménageurs. Par exemple, le potentiel d'infiltration d'un site ne doit pas être basé seulement sur sa perméabilité, mais aussi sur ses caractéristiques géochimiques et le degré d'hétérogénéité structurale et texturale des formations en place.

Valorisations :

Les ouvrages d'infiltration : la fonction filtration. Recommandations à l'usage des gestionnaires, 38 pages.

Coutinho A.P., Lassabatere L. and Winiarski T. (in press) Vadose zone heterogeneity effect on unsaturated water flow modeling at meso-scale. Journal of Water Resource and Protection.

Chevalier A., Legchenko A., Girard J-F. and Descloitres M., (2014). Monte Carlo inversion of 3D Magnetic Resonance measurements, Geophysical Journal International. doi: 10.1093/gji/ggu091.

Bedell J.-P., Mourier B., Provot J. and Winiarski T. (2013). Dominant vegetation and influence by the type of urban tissue on its establishment in several stormwater infiltration basins of the East Lyon. Water Science and Technology. 68 : 12, 2576-2583.

Goutaland D., Winiarski T., Lassabatere L., Dubé J.-S. and Angulo-Jaramillo R. (2013). Sedimentary and hydraulic characterization of a heterogeneous fluvioglacial deposit: application to the modeling of unsaturated flow. Engineering Geology 166 (2013) pp 127-139.

Winiarski T., Lassabatere L., Angulo-Jaramillo R. and Goutaland D. (2013). Characterization of the heterogeneous flow and pollutant transfer in the unsaturated zone in the fluvioglacial deposit. Procedia Environmental Sciences Vol 19, 955 – 964.





FloodScale - Observation et modélisation hydro-météorologique multi-échelle pour la compréhension et la simulation des crues éclairs



Porteur de projet : Isabelle Braud (Irstea, centre de Lyon Villeurbanne)

Mots-clés : Crues rapides, hydrologie, ruissellement, propriétés des sols, capacité de stockage des sols

Période : 2012-2015

Le projet ANR FloodScale a pour objectif d'améliorer la compréhension et la simulation des processus hydrologiques conduisant à des crues rapides en région Méditerranéenne, en particulier sur les petits bassins versants sans mesures de débit. Les variabilités spatiales et temporelles de la pluie, des caractéristiques des paysages, de l'humidité des sols sont reconnues comme des facteurs importants influant sur la génération de crues rapides, même si la quantification et le rôle de ces variabilités à différentes échelles restent des questions de recherche ouvertes. La compréhension des crues éclairs constitue aussi un défi météorologique puisqu'elle requiert des observations à des échelles spatiales et temporelles très fines (1 km², 5min), mais aussi sur de très vastes régions (bassins de 1000 km²). Le projet FloodScale s'appuie sur un dispositif de mesures original en sous-bassins emboîtés pour documenter les échelles allant du versant, du petit bassin versant (quelques km²) jusqu'à celle des grands bassins de taille régionale (1000 km²) ; la mise en œuvre de campagnes de mesures durant les épisodes de pluie intense ; et la modélisation hydrologique distribuée pour le test et l'évaluation de différentes hypothèses de fonctionnement. Les bassins d'étude sont le Gard et l'Ardèche.

Pour ces travaux, nous avons besoin d'informations sur les sols. D'une part, il faut caractériser leur capacité d'infiltration et l'impact sur la genèse du ruissellement contribuant aux crues rapides. D'autre part, nous avons besoin d'estimer les capacités de stockage par les sols durant les épisodes de pluie intense. Ces informations sont requises de manière spatialisée, aux différentes échelles qui nous intéressent : de l'échelle locale à l'échelle régionale.

Les bases de données sol Référentiel Régional Pédologique (RRP) au 1/250000^{ème} du programme IGCS (Inventaire et Gestion des Sols) de la région Languedoc Roussillon et du département de l'Ardèche nous ont servi de première source d'information sur les sols. Les informations quantitatives sur les sols dont nous avons besoin : porosité, conductivité hydraulique à saturation, capacité maximum de stockage, réserve utile ne sont pas disponibles directement dans la base. Ces dernières ont été calculées à l'aide de fonctions de pédotransfert qui permettent de les obtenir à partir de la texture des sols et d'une information sur la porosité uniquement. Néanmoins, cette approche a révélé quelques limites qui ont conduit à la réalisation d'expérimentation in situ ou d'analyses de données dans le cadre du projet lui-même.

Les questions auxquelles nous avons souhaité répondre via ces travaux sont les suivantes : 1/ Pour caractériser les capacités d'infiltration de l'eau en surface, l'impact de l'occupation du sol doit-il être pris en compte en plus de celui de la texture du sol ? 2/ Quelle est la représentativité des capacités de stockage du sol issues de bases de données à finalité agronomique (qui ne prennent pas en compte la zone de socle altérée qui se comporte presque comme un sol) pour des usages en hydrologie, ou comment définir le sol d'un point de vue hydrologique ? 3/ Comment peut-on améliorer la représentation des sols dans les modèles hydrologiques dédiés à la simulation des crues rapides ?

Pour répondre à la première question, une campagne d'essais d'infiltration, échantillonnant différentes combinaisons d'occupation du sol et de types de sol a été menée sur un bassin versant de près de 50 km² en





Ardèche. Des essais d'infiltration sous charge ou à l'aide d'infiltromètres ont été réalisés, permettant de documenter la conductivité hydraulique proche de la saturation et à saturation. Un dispositif appelé saturomètre et dérivé des simulateurs de pluie traditionnels a aussi été testé. L'analyse des données montre que les conductivités hydrauliques mais aussi la porosité sont significativement plus élevées sous forêt que sous culture, pour une texture donnée. Il y a aussi un saut de conductivité hydraulique proche de la saturation, lié à la présence de macropores. Ce point est important pour la genèse du ruissellement et explique que, sous forêt, le ruissellement par refus d'infiltration est rare, mais n'est pas pris en compte dans les bases de données du type RRP ou les fonctions de pédo-transfert. D'autres expérimentations du projet montrent alors la prédominance du ruissellement latéral à l'interface entre le sol superficiel et les horizons de socle altéré. La nécessité de prendre en compte l'occupation du sol dans la caractérisation des propriétés d'infiltration des sols de surface dans la région est confirmée par une analyse compilant l'ensemble des données d'infiltration acquises dans la région cévenole.

La seconde question a été abordée à partir de l'analyse des récessions de débits. Elles ont montré que les informations des bases de données sol du RRP étaient insuffisantes pour caractériser les capacités de stockage des sols, en particulier lorsque la géologie sous-jacente est de type granite ou schiste, où une quantité d'eau importante peut être stockée dans les horizons de sol altérés. Prendre en compte cette capacité de stockage induit une nette amélioration des simulations de débits par les modèles.

Enfin, sur la troisième question, il a été montré que, prendre en compte les propriétés hydrodynamiques de surface issues des mesures in situ, en lien avec l'occupation du sol, conduit à des résultats de simulation de la réponse hydrologique plus réalistes par rapport aux mesures. Sur les petits bassins versants explorés (quelques km²), les profondeurs de sol n'ont pu être reliées aux caractéristiques physiographiques et l'utilisation d'une distribution aléatoire des profondeurs de sol, dont les caractéristiques statistiques sont issues de l'observation, conduit à des simulations plus satisfaisantes de la réponse hydrologique que si les profondeurs sont supposées constantes.

Valorisations :

Les résultats du projet FloodScale sont déjà valorisés par plusieurs publications scientifiques, mais pas encore le volet sur les sols, présenté ici. Les données des essais d'infiltration ont été transmises à la base de données HyMeX. Nous sommes aussi prêts à faire un retour, dans une forme à définir, vers les personnes qui développent les bases de données sol et/ou les services les exploitant pour que les bases de données puissent être utiles à l'hydrologie.





GENOSOIL-Fr - Approche métaGENOmique pour l'étude de la biodiversité totale du SOL - Application à l'évaluation des impacts anthropiques sur la biodiversité des sols des écosystèmes du Nord Ouest de la France

Porteur de projet : Thibaud Decaëns (ECODIV, Université de Rouen)

Mots clés : barcode ADN, biodiversités des sols, invertébrés, métabarcoding, ADN extracellulaire, communautés

Période : 2010 – 2013

Le projet GENOSOIL a pour objectif principal de développer une méthode de quantification de la biodiversité du sol se basant sur une combinaison d'approches de taxonomie moléculaire mettant en oeuvre le barcode ADN et la métagénomique (barcode environnemental à partir d'échantillons totaux d'invertébrés et/ou d'échantillons de sol). La démarche s'appuie sur (1) la constitution de bibliothèques de référence de barcodes ADN ainsi que (2) l'utilisation des outils de séquençage de nouvelle génération (Roche 454, Illumina MiSeq) pour caractériser les communautés d'invertébrés présentes dans des échantillons de sol ou issus d'extraction de faune. L'élaboration et la calibration du protocole ont été faites à l'aide d'échantillons d'invertébrés et de sol prélevés dans différents gradients environnementaux caractéristiques des écosystèmes du Nord-Ouest de la France.

Les bibliothèques de référence de barcodes ADN comportent au total, 2338 invertébrés qui ont été analysés et conservés dans des collections de référence, représentant quelques 500 espèces ou unités taxonomiques opérationnelles moléculaires (MOTUs) réparties dans 21 groupes taxonomiques. La couverture taxonomique, bien qu'inégale en fonction des groupes taxonomiques, est très bonne pour les groupes clefs tels que les collemboles, les myriapodes ou les araignées, pour lesquels une proportion importante des espèces connues de la région Haute Normandie a d'ores et déjà été intégrée dans les bases de données ; cette proportion est de 100 % pour le groupe des vers de terre.

La campagne de prélèvement visant à fournir les échantillons nécessaires au volet métagénomique a été réalisée selon deux gradients environnementaux échantillonnés pour un total de 54 points de prélèvement. Trois points provenant de trois types d'habitat échantillonnés ont été traités avec le protocole mis au point à base de séquençage massif parallèle sur une plateforme Roche 454. Il a été possible de caractériser ces trois types d'habitats par la composition de leurs communautés d'invertébrés du sol au niveau spécifique, générique familial et ordinal.

De plus une autre méthode de recouvrement de la diversité des sols à niveau taxonomique inférieur (entre Embranchement et Ordre) a été expérimentée avec la recherche de traces d'ADN extracellulaires dans 24 échantillons de sols secs. L'application du protocole issu de l'ANR MetaBar a permis de recouvrer une partie significative de la diversité des sols. Les rapports de dominance dans les proportions relatives de séquences produites indiquent bien une correspondance avec les proportions attendues entre grands groupes trophiques.

Valorisations :

Porco D., Decaens T., Deharveng L., James S.W., Skarzynski D., Erseus C., Butt KR., Richard B., Hebert P. 2013. Biological invasions in soil: DNA barcoding as a monitoring tool in a multiple taxa survey targeting European earthworms and collembolans in North America. *Biological Invasions*, 15, 899-910 pp..

Dupont L., Lazrek F., Porco D., King RA., Rougerie R., Symondson WOC., Livet A., Richard B., Decaens T., Butt KR., Mathieu J. 2011. New insight into the genetic structure of the *Allolobophora chlorotica* aggregate in Europe using microsatellite and mitochondrial data. *Pedobiologia* 54-4.

Decaens T., Porco D., Rougerie R., Brown G., James S. 2013. Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. *Applied Soil Ecology* 65, 35– 42.

Rossi JP. 2011. rich: an R package to analyse species richness. *Diversity* 3, 112-120, accès libre au texte intégral.





PROGRAMME
SOL
GESSOL
Fonctions
environnementales
& gestion du
patrimoine sol





INCA - Spectroscopie proche infrarouge in-situ pour la comptabilité carbone : Développement d'un spectromètre portable à bas coût et d'outils chimiométriques pour déterminer le stock de carbone du sol directement au champ

Porteur de projet : Alexia Gobrecht (UMR ITAP Cemagref-Montpellier Supagro)

Mots-clés : Changement climatique, Stock de carbone, Spectrométrie infra-rouge, Séquestration, Matières organiques des sols (MOS), Instrumentation, Crédits carbone, *Chimiométrie*

Période : 2010 – 2013

Dans l'objectif de limiter le changement climatique dû à l'accroissement de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre, le protocole de Kyoto prévoit de mettre en place une bourse du carbone, permettant de rémunérer les organismes qui stockeraient le carbone. Une des principales voies de stockage est la séquestration dans le sol.

Le frein principal demeure alors le coût de comptabilisation des stocks de carbone : coût des campagnes d'échantillonnage et coût analytique, permettant de vérifier le stockage de carbone additionnel. Ceci suppose que l'on sache mesurer le carbone séquestré de façon précise et peu coûteuse. L'objectif du projet INCA, est **de développer un dispositif optique spécifiquement adapté à la quantification des stocks de carbones dans les sols, utilisant la spectrométrie proche infrarouge et, à terme, directement applicable au champ.**

Bien qu'employée depuis des décennies en analyse de routine en agro-alimentaire, la spectrométrie proche infrarouge (SPIR) relève toujours de la recherche dans le domaine des sols. Si la quantification de différents constituants ou certaines fonctions (teneur pondérale en carbone organique et inorganique, en azote, capacité d'échange cationique, granulométrie...) a fait l'objet de nombreuses publications, plusieurs verrous méthodologiques et technologiques doivent être levés pour en faire une méthode d'analyse de routine pour la comptabilité des crédits C. D'une part, la spectrométrie doit être mise en œuvre au champ, pour éviter les coûts générés par l'extraction/ préparation d'échantillons et permettre de répéter les mesures. D'autre part, le point critique de la SPIR – en particulier pour les sols - est l'étalonnage. Cela génère plusieurs questions de recherche : (i) quelle architecture optique permet d'optimiser la qualité des spectres mesurés in-situ ? (ii) quelle est la sensibilité de la mesure aux différentes grandeurs d'influence en extérieur (humidité, présence d'éléments grossiers, température etc.) ? et comment rendre la mesure robuste ? (iii) comment évaluer la qualité de la mesure ?

C'est avec l'objectif d'apporter des réponses à ces questions, que s'est constitué le consortium scientifique pluridisciplinaire du projet INCA regroupant spécialistes d'instrumentation de SPIR et pédologues spécialistes du carbone.

Les travaux de recherche ont porté à la fois les deux leviers possibles pour améliorer la qualité de la mesure du carbone des sols :

- i. L'amélioration de la qualité de la mesure spectrale : un système optique appelé PoLiS et adapté à la mesure de sols a été développé, reposant sur le principe de polarisation de la lumière et permettant de s'affranchir en partie des effets de diffusion de la lumière par les particules du sol. En conséquence,





les spectres mesurés sont moins dépendant de la taille de particules (i.e. du type de préparation des échantillons), ce qui est un pré-requis à toute mesure in-situ.

- ii. L'étalonnage : Le potentiel des différentes des méthodes d'étalonnages a été analysé et comparé. Les différents traitements ont été faits à partir de la base de données spectrale comprenant plus de 2000 échantillons représentatifs du territoire métropolitain, associées à la teneur en carbone. Il en résulte que les méthodes locales sont les plus pertinentes lorsque l'on dispose de bases de données conséquentes, ce qui est le cas au niveau national.

En termes de résultats, INCA livre une nouvelle méthode de mesure de l'absorbance chimique de milieux diffusants, qui peut s'appliquer aussi bien aux sols que sur d'autres milieux. Cette méthode n'est, pour l'instant, qu'encore une méthode de laboratoire mais la faisabilité technologique de réaliser un capteur piéton ou embarqué est avérée.

Associée à cette méthode de mesure, INCA a produit un indicateur de qualité des spectres, lui aussi générique.

Enfin, INCA a défini les stratégies les plus pertinentes en terme d'étalonnages, tout en insistant sur l'importance d'acquérir, en amont un signal de haute qualité.

Valorisations :

Gobrecht A., Bendoula R., Roger J.M., Bellon-Maurel V. 2015. Combining linear polarization spectroscopy and the Representative Layer Theory to measure the Beer-Lambert law absorbance of highly scattering materials.. *Analytica chimica acta*, 853, 486-494.

Bendoula R., Gobrecht A., Moulin B., Roger J.M., Bellon-Maurel V. 2015. Improvement of the chemical content prediction of a model powder system by reducing multiple scattering using polarized light spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, Volume 69, Issue 1, Pages 10A-24A and 1-165 (January), pp. 95-102(8).

Gobrecht A., Roger J.M., Bellon-Maurel V. 2014. Major issues of diffuse reflectance NIR Spectroscopy in the specific context of soil carbon content estimation: a review. Chapter 4 In: Donald L. Sparks, Editor(s), *Advances in Agronomy*, Academic Press, volume 123, 145-175 pp..

Minasny B., McBratney A.B., Bellon-Maurel V., Roger J.M., Gobrecht A., Ferrand L., Joalland S. 2011. Removing the effect of soil moisture from NIR diffuse reflectance spectra for the prediction of soil organic carbon . *Geoderma* 167-168, 118-124pp. .

Gobrecht A. 2014. *Une nouvelle approche optique pour améliorer la caractérisation des sols par spectrométrie visible et proche infrarouge*. Thèse Irstea, UMR ITAP.





JARDINS FAMILIAUX - L'utilisation des sols urbains et périurbains pour le développement durable des villes

Porteur de projet : Louiza BOUKHARAEVA (Fondation Maison Sciences de l'Homme)

Mots-clés : Alimentation des villes, Jardinage urbain, Développement humain durable, Economie non marchande, Résilience

Période : 2009 – 2012

Le modèle pavillonnaire participe à l'étalement urbain pollueur et destructeur de sols. Une réponse actuelle est qu'il faut « construire la ville sur la ville ». Mais si les politiques publiques ne prennent pas en compte les besoins humains d'adoindre à l'appartement urbain un accès direct et actif aux sols, à l'air pur et aux plantes, ces tentatives et injonctions ont de fortes chances d'échouer. Ou alors, elles accroîtront les inégalités actuelles dans le rapport des citoyens à la nature, avec les conséquences qui s'ensuivent en matière de pauvreté et de violence. Le jardinage est une réponse ayant aussi l'avantage d'améliorer les services éco systémiques des sols. Il peut être organisé sous des formes adaptées aux exigences des sociétés modernes comme les montrent les expériences russes de collectifs de jardins, et les expériences françaises de jardins familiaux, partagés, d'insertion, thérapeutiques, pédagogiques.

1- Le citoyen et les sols jardiniers

Depuis le 18^{ème} siècle, les médecins ont démontré les bienfaits du jardinage pour la santé physique, psychologique et émotionnelle. Les preuves scientifiques de ces bienfaits s'accumulent depuis une vingtaine d'années. A cela s'ajoutent deux retournements de perspectives par rapport aux idées qui ont conduit à marginaliser le jardinage des citoyens au cours du 20^{ème} siècle.

Une idée dominante fut que le jardinage urbain était un héritage du passé rural et des savoir-faire paysans, donc destiné à disparaître avec le temps. Il en est résulté que l'habitat en appartements dans les immeubles collectifs n'a plus été complété par des jardins mais par des espaces verts entretenus par des professionnels. Cette croyance était fautive. En Russie comme en France aujourd'hui, le jardinage est promu par des citoyens. Il fait partie de nouvelles cultures urbaines en formation.

Une autre erreur fut la position stalinienne qui a considéré le jardinage familial comme vecteur d'un mode de vie « petit bourgeois » car favorisant l'individualisme et la dépolitisation. Adoptée jusque dans les années 1960 par l'ensemble des partis communistes européens, cette position a conduit à ignorer l'inégalité dans le rapport des citoyens aux sols et aux autres éléments de la nature. Or, les politiques suivies en Russie et dans les autres pays communistes d'Europe du Centre et de l'Est ont fini par encourager les collectifs de jardins, redécouvrant qu'il répond à des besoins de la personne humaine. Les enquêtes montrent par ailleurs que les collectifs de jardins élargissent les relations sociales et que le jardinage peut développer la conscience politique écologique.

En dépit de ces idées fausses, le jardinage urbain a perduré et se redéveloppe sous un double effet :

- la crise économique qui pousse des ménages pauvres ou modestes à chercher un complément de revenu ;
- la recherche de modes de vie plus équilibrés, plus écologiques, plus solidaires par des ménages de toutes catégories sociales.

Les politiques publiques doivent évoluer en conséquence. L'exemple russe peut servir de miroir.

2- Le modèle des collectifs de jardins de Russie

Aujourd'hui, 50 à 70% des citoyens de Russie possèdent une parcelle de terre de 300 à 1000 m². Sur environ 24 millions de parcelles, 10 millions sont localisées dans 80 000 collectifs de jardins, potagers et datchas gérés par des associations ou des coopératives. La plupart des parcelles comportent une maisonnette où il est autorisé de passer les nuits. Aux fonctions alimentaires s'ajoutent ainsi celles de villégiature : repos, loisirs, santé, éducation des enfants. Il est possible de privilégier certaines fonctions selon les besoins, les désirs, les





contraintes des utilisateurs. L'attribution à vie des parcelles depuis les années 1950 a permis de transformer des terrains souvent jugés impropres à l'agriculture moderne en sols reconnus comme les meilleurs de Russie. Cette conquête sociale au sein du régime soviétique est un modèle attractif pratiqué par la plupart des catégories sociales. Plus écologique que le modèle pavillonnaire, il accroît la résilience aux crises sur le plan alimentaire et thérapeutique. C'est un élément d'un mode de vie correspondant aux besoins de la personne humaine.

La définition de nouveaux modèles et leur mise en place prendra des décennies. Mais elle implique dès à présent un ensemble de réorientations. Voici 7 propositions pour les politiques publiques françaises issues du projet :

1. L'INSEE devra répertorier le jardinage urbain, et inclure dans le calcul du PIB les services qu'il rend à la société : alimentation, loisirs, santé, services éco systémiques. Il devra aussi introduire la distinction entre rural et urbain dans les enquêtes sur le mode de vie des français et leur habitat.
2. Le ministère de la Ville devra inclure le développement des collectifs de jardins dans les politiques visant à traiter la violence et la pauvreté urbaine, en particulier dans les « Plans Banlieues ».
3. Le législateur devra garantir aux utilisateurs des collectifs de jardins un usage du même ordre que celui garanti aux agriculteurs par le statut du fermage de 1945 (minimum de neuf ans).
4. Le législateur devra aussi permettre le séjour sur les parcelles lors des week-ends et des vacances. Il faudra étudier en même temps les mesures évitant que cette autorisation ne permette à terme une dérive vers une transformation de ces collectifs en nouvelles zones pavillonnaires.
5. Le législateur devra enfin favoriser le développement de l'acteur urbain de travail des sols comme ce fut fait pour les organisations agricoles à partir des années 1880. L'auto prise en charge doit remplacer les pratiques d'assistantat pour que cet acteur ait un poids politique effectif dans les décisions concernant l'aménagement des territoires et l'affectation des sols.
6. Les autorités territoriales devront favoriser la réaffectation des délaissés urbains et de certains sols agricoles en collectifs de jardins.
7. Le ministère de l'éducation nationale devra renforcer l'éducation à la vie des sols et au jardinage, et encourager la création de jardins de taille suffisante dans l'enceinte des établissements scolaires.

Valorisations :

Boukharaeva L. M., Marloie M. *L'apport du jardinage urbain de Russie à la théorisation de l'agriculture urbaine* Vertig'O, 2010, 10 (2), 17 p. [en ligne: <http://vertigo.revues.org/9919>].

Boukharaeva L. M., Marloie M. *L'utilisation des sols par le jardinage urbain à grande échelle en Russie. Economie rurale*, 2011, N° 326 octobre 2011, 176-191 p.

Boukharaeva L. M., Marloie M. *Des sols agricoles au service de la résilience urbaine: réflexions à partir du cas de la Russie, Espaces et Sociétés n° 147, 2011/3, 135-153.*

Boukharaeva L. M. *Six ares of land: Resilience of city dwellers in Russia*, in Tidball, Keith G.; Krasny, Marianne E. (Eds.), *Greening in the Red Zone: Disaster, Resilience and Community Greening*, Springer, New York, 2011.

Boukharaeva L. M., Marloie M., 2012, *L'utilisation des sols urbains et périurbains pour le développement durable des villes : une alternative au modèle pavillonnaire*, in Actes du Colloque *Le sol face aux changements globaux*, Versailles 19 au 23 mars 2012, INRA/AFES/AgroParisTech, pp. 120-121.

Boukharaeva L., Marloie M., Akhmetova S., 2012. *L'urbain et la nature : la dimension transdisciplinaire du développement durable de la ville. Cet ouvrage présente dix-neuf contributions de scientifiques français et russes. En russe. Sommaire, résumés, introduction et conclusion en russe, anglais et français.* Kazan, Edition de l'Université fédérale de la région de Volga. 288 p.





LANDSOIL - Structure du paysage et conservation des sols sous des conditions évolutives d'occupation du sol et du climat



Porteur de projet : Christian Walter (Agrocampus Ouest)

Mots-Clés : sol, paysage, cartographie, modélisation, stockage carbone, érosion, changement global

Période : 2009 - 2012

Analyser les effets de la structure du paysage sur l'impact du changement climatique sur les sols

Les sols sont une ressource peu renouvelable qui assure des fonctions et des services essentiels pour l'homme et les écosystèmes. La pression anthropique sur les sols et les effets supposés du changement climatique conduisent à envisager des modifications significatives de leurs propriétés à l'échelle de décennies. Le projet Landsoil étudie les relations entre l'évolution des sols agricoles et celle du contexte climatique et de l'organisation des paysages, à des échelles de temps allant de la décennie au siècle. Il a pour objectif de quantifier et modéliser les effets de la structure du paysage sur la redistribution des sols et sur la dynamique du stockage de carbone dans les sols. Il compare trois agrosystèmes très différents (bocage en Bretagne, openfield en région Centre, viticulture en Languedoc-Roussillon) et intègre les évolutions prévisibles de climat et de changement d'usage des sols. Une originalité forte réside dans le couplage de descriptions 3D des sols, de datations de l'érosion et de modélisations rétrospective et prospective pour quantifier les évolutions des sols. L'autre originalité porte sur la modélisation à hautes résolutions spatiale et temporelle, qui permet d'identifier les effets locaux des structures paysagères et d'intégrer des événements climatiques intenses.

Description 3D, datation et simulation de l'évolution future des sols pour des scénarios contrastés

Le projet développe de nouvelles méthodes de description des sols au sein des paysages et de modélisation de leur évolution au cours du temps, en intégrant les propriétés intrinsèques des sols et la configuration du paysage. La mise en œuvre de méthodes de cartographie 3D des épaisseurs des sols et des stocks de carbone à des résolutions spatiales fortes (2 m), mais aussi sur des superficies importantes, permet d'analyser finement les interactions entre la géométrie actuelle des sols et les structures passée et actuelle des paysages. Le recours à des méthodes de datation permet de comprendre les évolutions passées et de tester des modèles d'évolution des sols à l'échelle des paysages. Cette étape de quantification de l'état actuel des sols et de mise au point de modèles d'évolution constitue le fondement des simulations de l'évolution future des sols selon des scénarios de changement climatique et de modification des paysages.

Résultats majeurs du projet

La cartographie à haute résolution et les éléments de datation montrent que les sols, qui sont habituellement perçus comme stables, ont évolué de façon importante au cours des derniers siècles en fonction des changements d'usage et de la réorganisation des paysages, avec une accélération récente des processus. Le projet a permis de développer un nouveau modèle de redistribution des sols dans les paysages (dénommé Landsoil) intégrant les différents processus d'érosion et de dépôt et prenant en compte les facteurs climatiques, pédologiques et anthropiques qui influencent ces processus. Ce modèle a été couplé à un modèle de dynamique du carbone des sols qui permet d'analyser conjointement l'évolution de l'épaisseur des sols et de leurs stocks en matière organique. Des simulations d'évolution des sols sur la période allant de l'actuel à 2100 ont été menées à partir de scénarios croisant évolution climatique et évolution des paysages. Ces





simulations montrent des différences d'intensité des processus entre sites, traduisant des différences intrinsèque de vulnérabilité. Par ailleurs, des différences significatives sont observées entre scénarios appliqués à un même site avec une influence de plus en plus forte quand on considère respectivement, le changement climatique supposé, la structure du paysage et l'usage des parcelles, mais avec des interactions entre ces facteurs.

Les résultats conceptuels et méthodologiques du projet Landsoil débouchent sur une évaluation de la vulnérabilité des sols à des processus de dégradation au sein de paysages réels ou simulés. Ils participent ainsi à l'élaboration de stratégies de gestion des paysages incluant un objectif de préservation des sols.

Valorisations :

Site internet : www.inra.fr/landsoil

Ce projet a donné lieu à quinze articles déjà publiés ou soumis dans des revues scientifiques internationales, 25 communications scientifiques nationales et internationales et la soutenance de deux thèses. Trois symposiums ont été organisés dans le cadre des congrès européens EGU et Eurosoil en 2011 et 2012 pour disséminer les résultats et les méthodes mises au point dans ce projet et susciter des collaborations pour la poursuite des travaux.

Par ailleurs :

- des modèles numériques de terrain à haute résolution (1 et 2 m) ont été obtenus sur deux sites par programmation de campagnes aéroportées Lidar ;
- des bases de données sur l'organisation des sols et leurs propriétés ont été constituées et mises à disposition des observatoires de recherche (ORE Omere, ZA Armorique, ZA Loire) gestionnaires des sites étudiés ;
- des logiciels ont été produits durant le projet : logiciel Landsoil (Ciampalini et al., 2012) de modélisation de la redistribution des sols dans le paysage (dépôt à l'APP) ; scripts R du modèle spatialisé de la dynamique du carbone dans les paysages (Viaud et al., 2011).





MODE RESPYR - Modélisations rétrospective et prospective des changements d'occupation des sols dans les Pyrénées

Porteur de projet : Thomas Houet (Université de Toulouse, CNRS, Laboratoire GEODE)

Mots-clés : Scénarios, Végétation, Usages des sols, Modèles, Paléo-environnements, Télédétection

Période : 2011 – 2015

Le projet MODE RESPYR (MODELisation Rétrospective et prospectivE des changements d'occupation des Sols dans les Pyrénées) a pour objectifs de reconstruire les changements passés anciens et contemporains des modes d'occupation des sols et de projeter les changements futurs possibles à différentes échelles spatiales et temporelles dans les Pyrénées. La compréhension des trajectoires passées d'évolution des paysages ainsi que les processus qui les font évoluer est essentielle pour réduire les incertitudes liées aux impacts des changements en cours et futurs et pouvoir les anticiper.

Les milieux montagnards, et plus particulièrement les Pyrénées, constituent des territoires à forts enjeux. En effet, les impacts issus des interactions Hommes-Milieus (changement climatique, changement d'usages des sols) y seront plus marqués qu'ailleurs (IPCC 2007): fonte des glaciers, reforestation, etc. La réalisation de scénarios prospectifs spatialisés des changements possibles des modes d'occupation des sols dans les Pyrénées constitue un véritable défi scientifique (méthodologique et thématique) mais aussi un enjeu fort pour les acteurs locaux et les collectivités locales.

D'un point de vue scientifique, les travaux réalisés ont ainsi mis en évidence que les enjeux actuels et futurs portent désormais principalement sur les estives. L'analyse de données paléo-environnementales a démontré que le facteur anthropique, à travers les usages des sols, est le principal facteur des changements observés au cours des deux derniers siècles. La baisse démographique a engendré un abandon de terres agricoles utilisées initialement soit pour l'élevage (pastoralisme) soit pour les cultures. Si la reconquête des zones de versant a été relativement rapide après les années 1950s, elle commence à se faire réellement ressentir dans les estives à partir des années 1990-2000s, à des rythmes souvent sous-estimés. La densité et le type de cheptels, la conduite des troupeaux durant l'été, la prédation sont autant de facteurs qui expliquent un enrichissement (voire une reforestation) parcimonieux de ces espaces. Des projections tendanciennes réalisées à des échelles différentes (régionale, d'une vallée ou encore d'une estive) à l'aide de modèles différents corroborent cette tendance et ce, quelle que soit le scénario ou les stratégies d'usages des estives. Des disparités existent néanmoins selon les contextes régionaux : les Pyrénées centrales étant l'espace le plus sensible. La remontée en altitude de la limite forestière est irrémédiable à l'échelle régionale, avec possiblement des différences d'une vallée à l'autre ou d'un versant à l'autre. Elle va s'accroître avec la baisse de l'intensité de l'usage des sols (voire un abandon) sur ces espaces, probablement favorisée par le changement climatique. Néanmoins, les sociétés se sont toujours adaptées à l'évolution des milieux, et la mise à feu en est un exemple. Bien que cette pratique persiste encore aujourd'hui, elle n'enraye pas pour autant ces dynamiques. Ainsi, des stratégies d'adaptation, notamment dans les modes d'usages des estives, ont été également testées à l'aide de la modélisation prospective. Les résultats ont montré que s'il n'est pas possible d'inverser la tendance, certaines stratégies permettent malgré tout de limiter la fermeture des milieux d'altitude. Par exemple, le gardiennage et une conduite adaptée du troupeau une fois tous les 5 ans s'avèrent aussi efficaces que d'augmenter le cheptel de 10% durant la même période de temps, mais pour un coût a priori moindre.





D'un point de vue méthodologique, de nombreux jalons ont été levés mais de nouveaux défis sont aussi apparus. Par exemple, ce projet a permis d'intégrer des connaissances à des échelles différenciées pour améliorer la construction à des échelles régionales ou locales. Il a permis de valider également que l'approche de modélisation prospective spatialisée est applicable quelle que soit l'échelle, d'identifier les différents usages possibles suivant les modèles utilisés ou encore la place et l'apport des modèles dans la modélisation prospective. Inversement, ce projet prévoyait également la production de cartographie régionale des modes d'occupation des sols à une échelle fine par télédétection. Cela s'est révélé plus délicat que prévu. De même, la reconstitution spatialisée de paléo-paysages, tant à l'échelle régionale que locale, a permis de faire émerger les prochains défis de la modélisation rétrospective.

Valorisations :

La valorisation de ce projet s'est faite par le biais de multiples actions :

- *Le soutien d'une thèse de doctorant (financement de deux séjours aux USA : 1 mois à L'université du Vermont, 2 mois à LUSGS EROS National Data Center)*
- *La participation à des colloques internationaux (AGILE Avignon 2012, EARSeL berlin 2014, Global Land Project Berlin 2014, Mountain Research Initiative – Reno 2014, Mountain Research Initiative – Perth 2015...)*
- *La publication de 4 articles de vulgarisation scientifique*
- *La publication de 7 articles dans des revues scientifiques comité de lecture*
- *La diffusion des résultats à travers des actions participatives dans les écoles, avec des partenaires institutionnels (Parc National des Pyrénées, Fédération Pastorale d'Ariège) et des acteurs locaux (association pastorale), ou encore dans le cadre de la fête de la science.*





MULTIPOLSITE - Etude in situ et à long terme du devenir et des conséquences environnementales de la multipollution d'un sol



Porteur de projet : Corinne Leyval (LIEC, CNRS Université de Lorraine)

Mots-Clés : multipollution, sol, plantes, microorganismes, faune, remédiation

Période : 2008 – 2013

Le déclin industriel a conduit à l'apparition de milliers d'hectares de friches qui présentent souvent une contamination complexe par un mélange de contaminants, organiques, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), et métalliques. Les conséquences de ces contaminations multiples sur l'environnement et leur évolution à long terme sont encore mal connues. Les organismes du sol (plantes, faune, microorganismes) peuvent être affectés par la toxicité des contaminants, mais ils peuvent aussi contribuer à les transformer ou les éliminer. L'objectif et l'originalité de ce projet étaient de quantifier sur le terrain et à long terme le devenir et les conséquences de la multipollution d'un sol dans un contexte d'atténuation naturelle ou assistée par des plantes (phytoremédiation), avec une approche pluridisciplinaire intégrant: l'analyse des polluants dans les sols, les solutions, les végétaux, de leur biodisponibilité et toxicité, de la colonisation végétale spontanée et de la croissance des plantes introduites, de la faune et de la diversité microbienne fonctionnelle c'est à dire celle impliquée dans la biodégradation des polluants organiques, dans la tolérance aux polluants métalliques et dans leur mobilité dans les sols.

Des analyses complémentaires et une étude sur le terrain sur 7 ans (2005 à 2012)

Ce projet s'appuie sur un dispositif de 24 parcelles (2x3x0,4m, 1x1xH) et deux lysimètres (1m² de section x 2m de haut) mis en place en 2005 sur la station expérimentale du GISFI (www.gisfi.fr) à Homécourt (54) (figure 1). Le sol étudié provient d'une ancienne cokerie (NM) et est contaminé par des HAP et des métaux (Zn, Cd, As). Six types de parcelles sont étudiées : non plantées (désherbage manuel), plantées (luzerne et une plante hyperaccumulatrice), plantées et inoculées par un champignon mycorhizien ou colonisées par la végétation spontanée. Enfin, certaines parcelles plantées et inoculées comportent la même terre traitée par désorption thermique. Deux fois par an pendant 7 ans, des échantillons de terre, de végétaux et de solutions ont été prélevés, pour les analyser avec des techniques chimiques (analyse des constituants et des polluants), biologiques (biomasse, diversité des végétaux, de la faune), microbiologiques, et toxicologiques, et les résultats ont été rassemblés dans une base de données développée pour le projet.



Figure 1 : Le dispositif de parcelles et lysimètres utilisé (station expérimentale du GISFI) sur le site d'une ancienne cokerie à Homécourt (54)





Résultats majeurs

Dans le sol multi-contaminé, la teneur en polluants organiques (HAP) diminue lentement, mais pas celle des polluants métalliques, et une toxicité significative des eaux qui percolent est observée. La croissance des plantes est limitée par la contamination et la forte teneur en sulfates. Dans ces conditions, la présence de végétaux n'a pas eu d'influence sur le devenir des HAP, car leur très faible disponibilité limite la biodégradation. Ainsi, la disponibilité des polluants dans des sols historiquement contaminés est un facteur déterminant pour les possibilités de remédiation. La densité et la diversité biologique du sol montrent toutefois une dynamique de colonisation et une évolution de cet « écosystème », fortement structurées par la présence de végétaux.

Valorisations :

Les résultats du projet ont été valorisés sous la forme d'une base de données et de publications dans des revues internationales à comité de lecture: 18 publications à ce jour, dont 10 multipartenaires. Celles-ci portent sur les différents aspects du projet et une publication associant tous les partenaires présente le dispositif expérimental et l'ensemble des tâches. Ces travaux ont aussi fait l'objet de nombreuses présentations dans des congrès internationaux (20 communications) et nationaux (7 communications).





NO GAS - N₂O - Mesure et modélisation en GrAndes cultures



avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
« Développement agricole et rural »

Porteur de projet : Cécile Le Gall (CETIOM)

Mots clés : émissions de gaz à effet de serre, N₂O, protoxyde d'azote, pratiques culturales, pH

Période : 2010 – 2012

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole représentent 21% des émissions totales de GES à l'échelle nationale, dont près de 50% sont dues aux émissions de N₂O par les sols cultivés (CITEPA, 2014). Le N₂O est produit par les bactéries du sol impliquées dans la transformation de l'azote, au cours de 2 processus principaux: la nitrification et la dénitrification (au cours duquel le N₂O peut-être « dégradé » en N₂). Ces processus sont très dépendants des conditions du milieu (pH, humidité et température du sol) et de la disponibilité en substrat (azote, carbone).

Dans le cadre de plusieurs accords internationaux (protocole de Kyoto, paquet « climat énergie » européen), la France s'est engagée à réduire ses émissions de GES. Du fait du fort poids des émissions de N₂O pour le secteur agricole, leur réduction représente un enjeu majeur pour ce secteur.

Problématique

Pour engager cet effort de réduction, il est nécessaire tout d'abord d'évaluer quel est le niveau « moyen » d'émissions annuelles au niveau français. Avant 2010, le nombre de données de mesure disponibles était très restreint et non représentatif de la diversité des conditions de production françaises. Il était donc difficile d'évaluer quelle était la « gamme » de variation des flux de N₂O à l'échelle nationale, et quels étaient les déterminants majeurs des émissions mesurés au champ.

Le projet NO GAS (2010-12) avait donc pour objectifs de (i) acquérir des références expérimentales représentatives des principales zones de production des grandes cultures et (ii) améliorer les outils de modélisation des émissions de N₂O. Le présent exposé concerne uniquement le premier volet.

Un panorama des flux de N₂O à l'échelle France

L'une des actions principales réalisée dans le cadre du projet a été la mise en place d'un réseau expérimental national, au sein duquel les émissions de N₂O ont été suivies sur 2 campagnes (2010-11 et 2011-12), afin de pouvoir prendre en compte l'influence de la variabilité climatique sur le niveau des flux de N₂O. La mesure des flux ponctuels a été réalisée à l'aide de la méthode des chambres statiques (Denmead et al, 1979 ; Rochette et al, 2008). Les résultats obtenus montrent une très grande variabilité dans la « gamme » de flux mesurés, avec un niveau d'émissions relativement faible sur 2010-11 du fait d'un printemps sec (0.1 à 1.1 kg de N/ha/an) mais beaucoup plus élevés sur 2011-12, plus pluvieuse (jusqu'à 14 kg de N/ha/an).

Un lien plutôt faible entre fertilisation azotée et flux de N₂O annuels à l'échelle nationale

De par sa forte influence sur la quantité d'azote disponible dans le sol pour les microorganismes, la fertilisation azotée est le facteur le plus souvent mis en avant dans les études scientifiques comme déterminant majeur des flux de N₂O. Les résultats obtenus dans le cadre du projet NO GAS montrent cependant qu'à l'échelle nationale française, la relation statistique entre les flux annuels de N₂O et la quantité d'azote apporté via les engrais est relativement faible. A cette échelle, il apparaît que d'autres facteurs sont plus déterminants. En revanche, les résultats obtenus sur les sites comparant un témoin « sans azote » et des modalités fertilisées mettent en évidence un impact fort de la quantité d'azote sur les flux de N₂O: au niveau « local », c'est donc un facteur déterminant.





Un impact fort des conditions pédoclimatiques

La diversité de situations couvertes sur le réseau expérimental de NO GAS a permis de mettre en évidence la forte influence des conditions climatiques sur le niveau des émissions de N_2O . Les analyses statistiques ont mis en avant que la pluviométrie annuelle cumulée et le pH du sol étaient les deux principaux facteurs explicatifs de la variabilité des flux annuels observés. Par ailleurs, les tests menés en laboratoires sur des échantillons de sol prélevés sur les sites expérimentaux ont mis en évidence un lien étroit entre le pH du sol et la capacité des microorganismes du sol à transformer le N_2O en N_2 . Plus le pH du sol est élevé, plus cette capacité l'est aussi, ce qui confirme les résultats obtenus sur des expériences antérieures à plus petite échelle (Hénault et al, 2001).

Conclusions et Perspectives

Les résultats expérimentaux issus du projet NO GAS ont permis d'avoir une idée plus précise de la « gamme » des flux annuels de N_2O observable au niveau français. Ils sont aussi permis de mieux identifier les principaux facteurs explicatifs de la variabilité observée de ces flux à l'échelle nationale.

Dans la suite de ce projet, ces données (ainsi que d'autres obtenues antérieurement) ont été utilisées pour mettre au point une nouvelle méthode d'estimation des flux annuels de N_2O , utilisable pour la réalisation des inventaires nationaux d'émissions atmosphériques et les Analyses de Cycle de Vie (ACV). Cette méthode est en cours de finalisation et devrait être soumise au GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) courant 2016.

Valorisations :

Séminaire de clôture de l'UMT GES-N2O : présentations et actes du colloque disponibles à l'adresse : <http://www.cetiom.fr/publications/colloques-et-seminaires/seminaires-umt-ges-n2o/seminaire-de-cloture/>

Perspectives agricoles – n°407, p.48 à 63 + p.68 – janvier 2014 « Dossier Gaz à Effet de Serre »

OCL – volume 20 – n° 2 – mars, avril 2013 « Le protoxyde d'azote (N_2O), puissant gaz à effet de serre émis par les sols agricoles : méthodes d'inventaire et leviers de réduction »

Innovations Agronomiques – volume 34, p.97-112 « Analyser et estimer les émissions de N_2O dans les systèmes de grandes cultures français »





NormaSol - Recherches sur la protection juridique des fonctions et services du sol

Porteur de projet : Philippe Billet (Univ. Jean-Moulin – Lyon 3)

Mots-clés : Qualité des sols, Fonctions des sols, Droit de l'environnement, Définition juridique

Période : 2010 – 2014

1. Le projet NormaSol s'articule autour du concept fédérateur de « qualité », à même de rendre compte des fonctions et services du sol, tant en ce qui concerne sa disponibilité que ses propriétés intrinsèques. L'originalité de la démarche NormaSol tient à ce que la qualité du sol est appréhendée d'un point de vue juridique, d'une part, et en considération du régime juridique des services rendus d'autre part, soit qu'il convient de les exploiter, soit qu'il convient de les préserver.

2. Il s'est agi, dans un 1^{er} temps de confirmer la pertinence du recours à la notion de qualité, imposant de définir précisément cette notion, tâche confiée à M. Desrousseaux dans le cadre de son rapport sur les « *Approches sémantique et juridique de la qualité environnementale* ». Celui-ci a mis en évidence les différentes définitions juridiques possibles de la qualité et son régime juridique, variable selon son objet et sa fonction. Cette recherche (en cours) a d'ores et déjà permis de mettre en exergue la question d'une qualité particulière du sol, sa disponibilité en fonction d'un usage donné, qui permet de réunir qualité intrinsèque et qualité matérielle. Cette recherche, bien avancée et discutée par les membres du groupe de travail, doit se poursuivre encore pendant une année.

De son côté, A. Farinetti (contractuelle) a analysé la transposabilité au sol des caractéristiques de l'appréhension juridique de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques en mettant en évidence les limites de l'exercice lié à la confrontation d'un élément mobile par rapport à un élément immobile et examiné les questions de voisinage, nécessairement différentes pour les mêmes raisons. Elle s'est attachée à la possibilité de dépasser l'indépendance fonctionnelle des différentes parcelles foncières comme obstacle à la généralisation de la protection juridique des sols, a analysé les conséquences juridiques de la dégradation des sols sur d'autres espaces et la pertinence de la prise en compte globale des éléments naturels, ainsi que la question de la qualification de patrimoine commun de la nation pour dépasser l'obstacle de l'appropriation. Ce rapport étudie de façon très approfondie la distinction bon état/bon potentiel et son application au sol, à même de permettre de dépasser la notion de « santé du sol » et propose des pistes, comme la partition en zones de qualités et une planification des usages en fonction de celles-ci.

Cette approche de la qualité a été complétée par un séminaire pluridisciplinaire organisé à Rennes (A. Langlais-Hesse / v ci-dessous, § valorisation), afin de mieux cerner la notion, les différents sens qu'elle peut avoir et la pertinence de son usage en fonction des disciplines.

3. Dans un second temps (avec un léger décalage, car en réalité, les recherches se sont poursuivies parallèlement), les réflexions ont tourné autour des questions de propriété et de souveraineté. Les réflexions des privatistes (M. Bary et M.-P. Dufrène-Camproux) ont été d'une grande utilité pour comprendre les ressorts du droit de propriété (régime général de la propriété privée, appropriation de la qualité liée dans un rapport d'accession par production, droits subjectifs et responsabilité) et les possibilités de dissociation entre la propriété d'un bien et ses éléments. On peut en effet s'interroger sur l'effective consubstantialité juridique qui existe entre la propriété du sol et les services qu'il peut rendre et se demander s'il n'y aurait pas une possible *transpropriation*, c'est-à-dire un détachement juridique entre la propriété du sol et cette capacité de services, du fait d'une « concession d'usages multiples [sur un même bien] à une multiplicité de titulaires » : la propriété





du sol appartient à leur propriétaire, sa capacité de services à la collectivité (à l'instar d'un monument historique, où le bâtiment appartient à son propriétaire mais son historicité à la collectivité). Par exemple, si l'agriculteur se « contente », comme il l'a toujours fait, des cultures, seul bien qu'il considère comme tel et qu'il a recherché en exploitant la capacité de production du sol, les autres services du sol lui sont *a priori* indifférents. Ce propriétaire du végétal ne pourrait en outre disposer de la propriété de ses services, dès lors qu'ils seraient des *choses communes* au sens juridique du terme, c'est-à-dire n'appartenant à personne mais dont l'usage (et ici le bénéfice) est commun à tous. Il y aurait donc une patrimonialisation de cette capacité de services dans un sens plus collectif, non appropriable, mais pouvant faire l'objet d'une réglementation d'usage dans le sens de l'intérêt général. Ce qui appelle, de ce fait, les réflexions des publicistes (Ph. Billet et M. Moliner-Dubost), s'agissant d'une part de l'appréhension de cette dissociation et, d'autre part, de ses effets en termes de réglementation d'usage : les qualités particulières du sol pourraient en effet conduire à redéfinir les responsabilités à l'égard de ses fonctions et services et de leur conservation, envisager les directives de l'Etat en ce qui concerne les productions et modes cultureux, les sanctions en cas d'atteinte et les mesures de réparation. Elle pourrait également justifier la « rémunération » du service rendu par le sol au bénéfice de son propriétaire, ou son « indemnisation », selon l'angle retenu au regard du droit des biens, s'il se voit limité dans l'usage de son bien au profit de la collectivité, impliquant alors qu'il n'a pas de droit particulier sur le service, mais seulement sur le végétal qui rend le service. Ce qui conduit, presque *naturellement* à envisager la question des paiements pour services écosystémiques (rendu par l'environnement) et environnementaux (rendus à l'environnement), leur légitimité et leur titularité (A. Langlais-Hesse et Ph. Billet), éléments qui ont été développés notamment dans les contributions à divers colloques (v ci-dessous, § valorisation) (réflexions en cours).

4. - Cette réinterrogation du droit de propriété, tant d'un point de vue public que privé, s'est également portée sur la question de la souveraineté des Etats sur leurs ressources naturelles (I. Michallet) et celles des droits des populations (Ph. Billet), éventuellement au titre des droits de l'homme, afin de savoir si les Etats pouvaient revendiquer des droits sur ces services, impliquant de qualifier ces services comme étant de telles ressources (réflexions en cours).

Elle s'est également développée autour de la question particulière de l'exploitation de la qualité des sols à des fins agricoles, impliquant d'identifier tous les liens entre « sol » et « agriculture », tant en termes de protection, d'exploitation, que d'atteintes et les responsabilités subséquentes (A. Langlais-Hesse et L. Stahl - contractuelle) afin d'envisager comment redéfinir le rôle de l'exploitation agricole dans la protection des sols (rapport à venir).

Valorisations :

Billet P; Partenariat mondial pour les sols : Envir. DD 2011, Focus n° 98

Billet P, Protection communautaire des sols : horizons lointains : Envir. DD 2012, Focus n° 43

« A la recherche d'une caractérisation de la qualité des sols Regards disciplinaires croisés ». Organisation d'un séminaire pluri-disciplinaire pour confronter les différentes approches sur la qualité des sols (Rennes, 6 et 7 sept. 2012 ss. direction scientifique A. Langlais-Hesse)

Appui de NormaSol sur le projet « AlterPhyto. Approches juridiques des protections alternatives contre les ennemis des cultures » en réponse à l'APR 2011 Programme de recherche Pesticides – Ecophyto 2018

Appui de NormaSol au colloque « Des droits à produire aux paiements pour services environnementaux » de l'Institut de l'Ouest : Droit et Europe (UMR-CNRS 6262) réalisé en partenariat avec le Centre d'excellence Jean Monnet (Rennes, 25 et 26 oct. 2012 - ss. direction scientifique A. Langlais-Hesse)

Rattachement de NormaSol au nouveau Réseau thématique pluridisciplinaire, « Biodiversité, droit et services écosystémiques » (Biodiscée) de l'Institut de l'écologie et de l'environnement (INEE/CNRS), l'Institut de droit de l'environnement étant le pôle de référence sur le sol et les services écosystémiques qui y sont liés (Ph. Billet, A. Langlais-Hesse et M.-P. Camproux-Dufrène)





Billet P, Le régime juridique du sol et de ses usages, intervention au séminaire international « Recherche scientifique, formation supérieure et politiques publiques pour un développement durable des grandes villes » (FMSH) (Paris, 3 févr. 2011)

Billet P, Statut et protection juridiques du sol, séminaire au Laboratoire d'écologie microbienne (U. Lyon 1 - 12 juill. 2011)

Billet P, Approches juridiques du couple « sols-santé », communication au séminaire Gessol « Sol et Politiques publiques » (Lyon, 20 oct. 2011)

Billet P, Autochtonie et droits d'accès aux ressources naturelles. Le « Nordmaling case » et le régime des parcours traditionnels, Communication au séminaire international « Le droit, la biodiversité et l'équité. Nouveaux enjeux, nouvelles approches ? », Rennes, 6-7 déc. 2011.

Billet P, La protection juridique de la capacité de produire du sol, communication aux 11èmes Journées d'Etude des Sols, « Le sol face aux changements globaux » (INRA Versailles 19 au 23 mars 2012)

Billet P, Access by Aboriginal peoples to the natural ressources : the "Nordmaling Case", communication in "Confronting Collapse : What Agencies, Institutions and Strategies Are Needed for a Better World ? How to Achieve Environmental Justice ?", (La Rochelle, 18-23 juin 2012)

Billet P, La protection juridique des sols agricoles et forestiers, communication in 9ème conférence internationale « Droits de propriété et instruments économiques au service de l'agriculture et de la forêt », International Center for Research on Environmental Issues (Aix-en-Provence, 21-23 Juin 2012)

Billet P, Les paiements pour services environnementaux et la qualité du sol, Communication in Colloque « Des droits à produire aux paiements pour services environnementaux » de l'Institut de l'Ouest : Droit et Europe (UMR-CNRS 6262) réalisé en partenariat avec le Centre d'excellence Jean Monnet (Rennes, 25 et 26 oct. 2012).

Desrousseaux Maylis La réglementation internationale, européenne et nationale relative aux sols: vers la reconnaissance des sols comme milieu naturel ?, XIIIème colloque régional de l'association Eau et Rivières de Bretagne sur « L'eau et les sols » (Pontivy, 30 novembre 2011)

Langlais-Hesse A, La politique agricole, les paiements pour services environnementaux (PSE) et les droits fonciers communication in Colloque "Confronting Collapse : What Agencies, Institutions and Strategies Are Needed for a Better World ? How to Achieve Environmental Justice ?" (La Rochelle, 18-23 juin 2012)

Langlais-Hesse A, Les paiements pour services environnementaux (PSE) comme expression d'une relation complexe entre un outil économique et des droits de propriété, Communication in 9ème conférence internationale « Droits de propriété et instruments économiques au service de l'agriculture et de la forêt », International Center for Research on Environmental Issues (Aix-en-Provence, 21-23 Juin 2012)

Langlais-Hesse A, Les paiements pour services environnementaux et la qualité du sol, Communication in Colloque « Des droits à produire aux paiements pour services environnementaux » de l'Institut de l'Ouest : Droit et Europe (UMR-CNRS 6262) réalisé en partenariat avec le Centre d'excellence Jean Monnet (Rennes, 25 et 26 oct. 2012).





PaléoSyr/PaléoLib - Paléoenvironnements et occupation du sol en Syrie occidentale et au Liban durant l'holocène



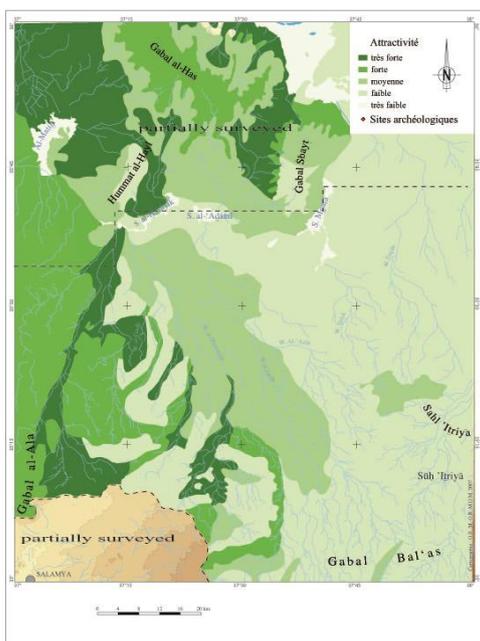
Porteur de projet : Frank BRAEMER (CNRS, Nice) et Bernard GEYER (CNRS, Lyon)

Mots-clés : Syrie, Holocène, peuplement, mise en valeur, aridité édaphique

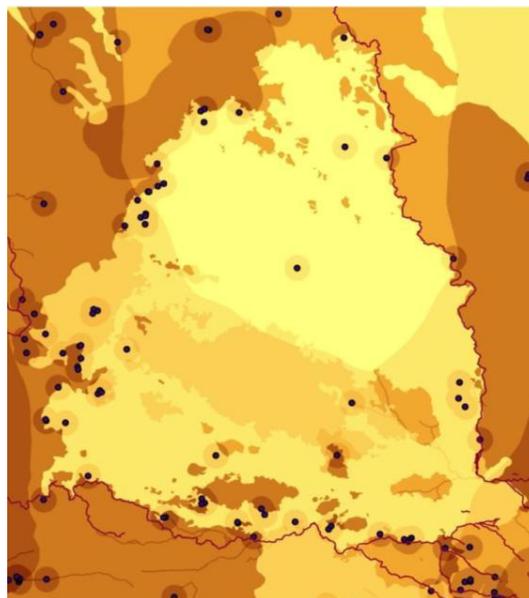
Période : 2010 - 2014

Une partie du travail réalisé dans le cadre du programme ANR PaléoSyr/PaléoLib porte sur l'occupation du sol et la mise en valeur au cours de l'Holocène en Syrie occidentale et au Liban.

Au cours des 15 dernières années, les tentatives visant à construire une modélisation temporelle du changement dans les systèmes paysagers pour le Proche-Orient qui intègre des données environnementales et anthropiques sont relativement peu nombreuses (projet MASS³ ou plus récemment CRANE⁴). Or l'association des données environnementales et de nos connaissances sur le peuplement, l'occupation du sol et la mise en valeur est essentielle pour comprendre les modèles économiques sur lesquels se sont fondées les sociétés du passé pour s'implanter et se développer dans des régions marquées par de fortes contraintes, dont la principale est l'aridité.



Carte d'attractivité « naturelle » des « marges arides de la Syrie du Nord »



Carte d'attractivité « naturelle » du Léja (Syrie du Sud)

³ <http://oi-archive.uchicago.edu/OI/PROJ/MASS/introduction.html>

⁴ <http://www.crane.utoronto.ca/simulation-modeling.html>





On peut constater que, très généralement, seule l'aridité climatique est mise en avant pour expliquer les modalités d'occupation du sol, ce qui fausse largement les conclusions auxquelles on peut aboutir. Nous avons cherché les moyens d'introduire, d'une part, les réalités de l'aridité édaphique et, d'autre part, les conséquences des interventions humaines, notamment des aménagements hydro-agricoles, pour arriver à définir et cartographier des classes d'attractivité et de potentiel agro-pastoral des territoires à l'échelle de la Syrie occidentale et du Liban.

Le but est de formuler des modèles spatiaux et temporels exploitant un jeu de facteurs environnementaux et anthropiques. Nous proposons donc des descriptions raisonnées des unités éco-géographiques, au sein desquelles la composante « sol » joue un rôle essentiel mais pas isolé d'un contexte géo-historique.

Valorisations :

Intégration du temps long et de paramètres anthropiques dans la caractérisation du changement dans les paysages agraires.





PROSTOCK - Effets de l'apport de produits résiduaire organiques sur le stockage de carbone, les émissions de gaz à effet de serre et la lixiviation du nitrate dans les sols agricoles périurbains

Porteur de projet : Emmanuelle Vaudour (AgroParisTech)

Mots-clés : Agriculture périurbaine, Approche territoriale, Gaz à Effet de Serre (GES), Matières organiques des sols (MOS), Stockage du carbone, Produits résiduaire organiques (PRO), Recyclage des déchets, Spectrométrie infra-rouge, Télédétection, Modélisation spatiale, Lixiviation des nitrates

Période : 2010 – 2013

Le projet PROSTOCK s'inscrit dans le contexte d'une agriculture péri-urbaine visant le recyclage des matières organiques résiduaire d'origines agricole, urbaine et de loisirs (ou produits résiduaire organiques, PRO) dans une perspective vertueuse de restauration des stocks de carbone organique (CO) de ses sols agricoles. Son objectif principal était d'évaluer spatialement la possibilité d'accroître le stock de CO des sols agricoles par le recyclage des PRO. L'objectif secondaire visait à en évaluer les impacts potentiels, au même niveau d'organisation spatiale, sur les risques d'émission de GES et de lixiviation du nitrate. En outre, PROSTOCK comportait un objectif méthodologique visant à évaluer la faisabilité du suivi des variations de stocks de carbone organique des sols agricoles par imagerie de télédétection et/ou spectroradiométrie visible proche infrarouge (NIRS).

Le niveau d'organisation spatiale retenu est celui de petites régions agricoles périurbaines, où se jouent la gestion des déchets et ses effets sur la qualité de l'eau et des sols. La Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets, région périurbaine vaste de 221 km² (dont environ 100 km² de surface agricole utile), unique en termes de données disponibles, de représentativité spatiale et thématique et de références sur les PRO, a ainsi été choisie comme territoire de l'étude. Une base de données de mesures (réflectance, rugosité, masse volumique apparente, humidité, déterminations analytiques) et d'observations (états de surface du sol, pratiques d'amendement et opérations culturales) d'ampleur inédite a été recueillie et structurée et concerne plus de 250 localisations ponctuelles réparties sur la zone agricole. Une quinzaine d'images de divers capteurs satellitaires et aéroportés ont été acquises lors de 3 campagnes printanières de mesures de terrain synchrones des prises de vue de télédétection, en 2011, 2012 et 2013.

Le projet a permis des avancées significatives sur l'utilisation de données imagées en lien avec les mesures spectrales au sol, pour l'estimation des teneurs en carbone organique (CO) du sol à partir de la réflectance du sol. La précision que l'on peut en espérer dépend non seulement du type de capteur, mais aussi des conditions atmosphériques et angulaires de la prise de vue, et des opérations culturales, qui affectent la performance de la correction atmosphérique des images en réflectance. Contrairement aux prédictions issues de spectres de réflectance de laboratoire ou même de terrain, les données multispectrales satellitaires de résolution moyenne haute ne permettent pas de distinguer des changements liés à des apports de PRO sur une durée de 15 ans, mais contribuent à une cartographie sommaire des teneurs en CO sur de vastes superficies. Le projet a par ailleurs permis de mettre en évidence l'intérêt de la synergie optique/radar pour la détection des opérations culturales, qui sont difficiles à répertorier spatialement par le biais d'enquêtes. Dans la même perspective d'alléger les enquêtes sur les pratiques agricoles, les travaux en cours sur les images de très haute résolution spatiale Pléiades montrent l'apport de ces images à la cartographie des types de cultures et de leurs stades phénologiques ainsi qu'au repérage des parcelles ayant récemment fait l'objet d'un épandage de PRO.

Par ailleurs, le projet a permis de paramétrer le modèle agro-environnemental retenu pour simuler les stocks de C sous l'effet des apports de PRO (CERES-EGC), qui restitue fidèlement et rétrospectivement les évolutions temporelles des stocks de CO observées sur 10 ans du dispositif expérimental QualiAgro. L'inventaire des PRO actuellement ou potentiellement disponibles réalisé sur le territoire fait ressortir une multiplicité de scénarii agronomiques d'utilisation des PRO selon leurs propriétés stockantes ou bien fertilisantes, via leur disponibilité





en azote : les dynamiques de minéralisation de l'azote, d'émission de CO₂ et de N₂O ont été caractérisées pour les principaux PRO répertoriés dans le cadre de ce projet. On connaît désormais quels sont les sols principaux émetteurs de N₂O selon les PRO qu'on leur apporte. Tous les éléments sont donc en place pour mettre en œuvre ces simulations au niveau spatial, afin d'anticiper des évolutions futures.

Le projet PROSTOCK ouvre la voie à de nombreuses questions connexes qui portent notamment sur le domaine de validité des modèles agri-environnementaux lorsque les types de sols et les opérations culturales varient à l'échelon d'une petite région agricole. Il s'est fait en lien et avec l'engagement des agriculteurs du territoire et s'avère fécond en possibles approfondissements au service de ces derniers, que permet d'envisager l'ampleur inédite des données recueillies. Il pourrait donner lieu à une suite qui valoriserait les résultats en cours dans la perspective de l'évaluation spatialisée des services écosystémiques des sols sous l'effet de l'apport des PRO.

Valorisations :

Vaudour E., Gilliot J.M., Bel L., De Junet A., Michelin J., Hadjar D., Cambier P., Houot S., Coquet Y., 2012c. Topsoil organic carbon content prediction using VNIR-SWIR reflectance spectra at field and satellite levels over a periurban region. *Geoderma*, in revision.

Vaudour E., Baghdadi N., Gilliot J.M. 2014. Mapping tillage operations over a peri-urban region using combined SPOT4 and ASAR/ENVISAT images.. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 43-59.

Vaudour E., Bel L., Gilliot J.M., Coquet Y., Hadjar D., Cambier P., Michelin J., Houot S. 2013. Potential of SPOT multispectral satellite images for mapping topsoil organic carbon content over peri-urban croplands. . *Soil Science Society of America Journal*, 77, 2122-2139.

Laville P., Michelin J., Houot S., Gueudet J.C., Rampon J.N., Labat C., Vaudour E. 2013. Soil N₂O Emissions from Recovered Organic Waste Application in Versailles Plain (France): A Laboratory Approach. *Waste Biomass Valor.*

Hamiache J., Bel L., Vaudour E., Gilliot J.M. 2012. Spatial stochastic modeling of topsoil organic carbon content over a cultivated peri-urban region, using soil properties, soil types and a digital elevation model.. In: *Digital Soil Assessments and Beyond*, Minasny, Malone & McBratney (eds), CRC press, Balkema, pp. 161-166.

Vaudour E., Gilliot J.M., Bel L., Bréchet L., Hadjar D., Hamiache J., Lemonnier Y. 2014. Uncertainty of soil reflectance retrieval from SPOT and RapidEye multispectral satellite images using a per-pixel bootstrapped empirical line atmospheric correction over an agricultural region.. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 217-234.

Communiquer et enseigner :

Gilliot J.M. 2014. Animation autour du thème "Utilisation des drones et de la télédétection pour suivre les stocks de C dans les sols". Salon International de l'Agriculture.

De Naurois M. 2013. L'APPVPA sur France Inter dans Carnets de campagne. Emission "Carnets de campagne" du lundi 12 mars sur France Inter, Lien vers le site APPVPA.

Bel L., Vaudour E., Hamiache J. 2013. L'engrais des villes. *Mathématiques de la Planète Terre*. Un jour, une brève.





QUESACTES - Questionnaire sociologique sur la perception que les agriculteurs et les conseillers techniques ont des sols

Porteur de projet : Claude COMPAGNONE (AgroSup Dijon)

Mots-clés : Sociologie, Construction de points de vue collectifs, Conceptions des agriculteurs sur les sols et leur usage

Période : 2009 – 2012

Le projet consiste à faire émerger les conceptions des agriculteurs sur les sols et leur usage, et à appréhender la façon dont ces conceptions peuvent s'articuler à celles, plus savantes, d'experts agronomes ou de chercheurs en sciences du sol. Après avoir fait apparaître en quoi les sols ne sont pas, à proprement parler, les mêmes entités pour les scientifiques du sol, les agronomes et les agriculteurs, cette démarche d'enquête vise à révéler des points d'ancrages communs entre conceptions de praticiens et conceptions savantes pour réfléchir aux glissements envisageables d'éléments d'une conception vers une autre, aux formes possibles d'appropriations réciproques, aux types d'informations à mettre à la disposition des uns et des autres.

Pour ce faire, le projet s'appuie sur la mise en place d'un dispositif original constitué de deux phases. La première a pour objectif de favoriser la construction de points de vue collectifs propres à des groupes d'agriculteurs et la confrontation de ces points de vue avec celui d'un groupe d'agronomes.

Elle vise à :

- 1) permettre à trois groupes d'agriculteurs de nature différente de Vendée (en agriculture conventionnelle, en agriculture bio, en agriculture de conservation) de spécifier, en salle, leur point de vue sur les sols et leurs usages ;
- 2) recueillir, toujours en salle, les conceptions sur cette question des sols, et des pratiques des agriculteurs sur et avec ces sols, d'un groupe d'agronomes travaillant sur la même zone que ces derniers ;
- 3) placer chacun de ces groupes (agriculteurs et agronomes) en situation concrète de jugement de la nature des sols et de leurs usages sur un parcours de parcelles prédéfini pour, d'une part, faire le lien entre des référents concrets et les mots employés en salle pour les décrire et, d'autre part, repérer les « manières de faire », propres à chacun de ces groupes (agriculteurs et agronomes), développées afin de pouvoir caractériser les sols de ces parcelles; 4) susciter une interaction entre le groupe d'agronomes et chacun des groupes d'agriculteurs pris un à un, suite à ce parcours de parcelles, sur la question des sols, pour identifier les points qui font débats dans les caractérisations de ces sols.

La deuxième phase, plus classique, consiste à mener des enquêtes qualitatives et quantitatives pour :

- i) valider et préciser les points recueillis lors des rencontres en groupe ;
- ii) apprécier le poids de types de conceptions des sols à une échelle plus large.

De manière générale, ces enquêtes permettent, au-delà de l'identification des conceptions des agriculteurs, de repérer les dynamiques de changements en cours autour des pratiques culturelles et de cerner les ressources sur lesquelles les agriculteurs s'appuient dans ces dynamiques.

Valorisations :

C. Compagnone, A. Sigwalt, J. Pribetich (2013), « Les sols dans la tête. Pratiques et conceptions des sols d'agriculteurs vendéens », *Etude et Gestion des Sols*, 20 (2), 81-95.

C. Feller, C. Compagnone, F. Goulet, A. Sigwalt (2014). "Historical socio-cultural aspects of soil organic matter and soil organic carbon" in S.A. Banwart, E. Noellemeyer, *Benefits of Soil Carbon*.





RESACOR - Reconversion des Sols Agricoles Contaminés : impact des cultures à vocation énergétique sur la biodisponibilité des éléments en trace et relation avec la réponse des Organismes du sol



Porteur de projet : *Isabelle Lamy (INRA, ex-UR251 Physicochimie et Ecotoxicologie des sols d'Agrosystèmes Contaminés désormais UMR1402 Ecosys, Pole Ecotoxicologie).*

Mots-clés : *sol contaminé, Miscanthus, biodisponibilité, éléments trace, diversité fonctionnelle, traits fonctionnels*

Période : *2009-2012*

Quelle gestion durable pour les sols agricoles contaminés par des éléments traces ?

Les sols agricoles contaminés représentent des surfaces potentiellement cultivables à des fins non-alimentaires, à condition de ne pas favoriser des transferts accrus de micropolluants dans les différents compartiments des écosystèmes pour lesquels le sol est à l'interface. Les plantes à vocation énergétique représenteraient ainsi une alternative de mise en valeur de ces surfaces agricoles, à condition qu'elles ne soient pas impactantes pour l'environnement. Ces plantes sont souvent pérennes et viendraient alors remplacer le mode de gestion en culture annuelle des sols. Mais si l'impact des pratiques culturales sur les propriétés des sols est déjà bien renseigné, le cas des sols contaminés est encore mal connu et en particulier les conséquences sur la dynamique et l'écotoxicité des micropolluants. Prévoir cet impact nécessite de mener des recherches interdisciplinaires, afin de prendre en compte les mécanismes et processus biotiques et abiotiques majeurs qui gèrent l'écodynamique et la biodisponibilité des micropolluants dans les sols. C'est ce que nous avons proposé de faire dans ce projet avec comme cadre d'étude choisi la mise en place de miscanthus comme culture à valorisation de biomasse à des fins énergétiques, sur des surfaces agricoles contaminées par des éléments en trace initialement sous cultures annuelles et dont la vocation alimentaire était remise en cause au niveau local.



Une approche intégrée de l'impact d'un changement de pratique culturale en sols contaminés

Dans ce projet nous avons suivi les changements de qualité et de fonctionnement de sols contaminés suite à un changement de pratiques culturales, à partir de l'étude de l'écodynamique et de l'écotoxicité des polluants initialement présents. Le changement de mode de gestion des sols est représenté par l'implantation de cultures pérennes de miscanthus comme alternative à des cultures alimentaires annuelles sur des sols contaminés. Dans ce contexte de sol contaminé, nous avons pris en compte dans l'évaluation de la composante biologique du sol, l'action conjointe des contaminations chimiques et des modifications de l'habitat liées aux pratiques, compte tenu que la perturbation induite n'est pas le polluant mais le changement de pratique culturale. Un des objectifs majeur du projet a consisté à relier le devenir et l'impact des micropolluants avec la structure et les fonctions des organismes du sol sous l'action de cette nouvelle contrainte. Il s'agit pour cela de qualifier et quantifier les changements de propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol au cours du temps en réponse aux nouveaux modes de gestion, afin de modéliser les évolutions et évaluer le risque écotoxicologique associé à ces changements.





A partir d'une approche intégrée réunissant des pédologues et des agronomes ainsi que des physico-chimistes, des biologistes et des écologues, ce projet visait à comprendre i) le rôle du compartiment organique des sols, ii) les effets de la présence des éléments en trace sur la structure et les fonctions des organismes du sol, et iii) la relation avec la biodisponibilité des micropolluants.

Les cultures non-alimentaires avec des plantes à vocation énergétique permettent-elles une gestion durable des sols contaminés ? Résultats majeurs du projet

Ce projet a fourni des résultats robustes et originaux en termes d'agro-écologie et de réhabilitation de sites pollués, en se focalisant sur les effets et potentialités d'une culture de miscanthus en reconversion de sites historiquement perturbés. Nous avons mis en évidence le poids des caractéristiques pédologiques et des propriétés physico-chimiques des sols sur le devenir des micropolluants initialement présents et sur leur impact sur les organismes vivants du sol, à partir de travaux mettant en jeu la géochimie des matières organiques, ainsi que les traits fonctionnels des organismes édaphiques et leur diversité fonctionnelle. Les résultats montrent que, même à court terme, l'implantation de miscanthus en tant que culture pérenne impacte la physico-chimie et la biologie du sol, avec des conséquences sur la colonisation des sols pollués et la spéciation et la biodisponibilité des éléments en trace dans le sol.



Valorisation :

Hedde, M., van Oort, F., Lamy, I. 2012. Functional traits of soil invertebrates as indicators for exposure to soil disturbance. *Environmental Pollution* 164, 59-65.

Iqbal, M., Bermond, A., Lamy, I. 2013. Impact of miscanthus cultivation on trace metal availability in contaminated agricultural soils: Complementary insights from kinetic extraction and physical fractionation. *Chemosphere*, 91, 287-294.

Hedde M., van Oort F., Boudon E., Abonnel F., Lamy I. 2013. Responses of soil macroinvertebrate communities to Miscanthus cropping in different trace metal contaminated soils. *Biomass and Bioenergy*, 55, 122-129.

Hedde, M., van Oort, F., Renouf, E., Thénard, J., Lamy, I. 2013. Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. *Applied Soil Ecology*, 66, 29-39.

van Oort, F., Thiry, M., Foy, E., Fujisaki, K., van Vliet-Lanoë, B. 2013. Pédogenèse polyphasée et transferts de polluants métalliques contraints par des structures cryogéniques – le cas des sols sous épandages massifs d'eaux usées dans la plaine agricole de Pierrelaye. *Etude et Gestion des Sols*, 20(2), 7-26.

Chauvat, M., Perez G., Hedde, M., Lamy, I. 2014. Establishment of bioenergy crops on metal contaminated soils stimulates belowground fauna. *Biomass and Bioenergy*, 62, 207-211.

Beaumelle L., Lamy I., Cheviron N., Hedde M. 2014. Is there a relationship between earthworm energy reserves and metal availability after exposure to field-contaminated soils? *Environmental Pollution*, 191, 1-8.

(d'autres articles sont en cours)





Réseau PRO - Réseau opérationnel d'essais au champ pour l'étude de la valeur agronomique et des impacts environnementaux et sanitaires des Produits Résiduaire Organiques recyclés en agriculture



avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
« Développement agricole et rural »

Porteur de projet : ACTA (M Heurtaux), INRA EGC (A Michaud)

Mots-clés : Produits résiduaire organiques, Essais au champ, Réseau, Banque de données

Période : 2011 – 2014

Chaque année en France, près de 330 millions de tonnes de produits résiduaire organiques (PRO) d'origines variées sont épandues sur les terres agricoles pour leur valeur amendante et/ou fertilisante. Dans un contexte agro-environnemental et réglementaire favorable à leur recyclage agricole, cette pratique se présente comme la meilleure alternative par rapport à d'autres filières de traitement des PRO, au regard des enjeux environnementaux, économiques et énergétiques. Cependant, la diversité des PRO, des contextes d'apports (gisements de PRO, sol, cultures, climat) et des besoins agricoles (cultures, sol) nécessite d'appréhender précisément les effets attendus du retour au sol des PRO, en tenant compte de la diversité des contextes français, notamment en termes de PRO, de cultures et d'effets recherchés. Il est également requis d'assurer un recyclage optimal de la matière organique et des éléments fertilisants apportés au sol, tout en maîtrisant les impacts environnementaux et sanitaires. L'optimisation de l'utilisation des PRO passe notamment par l'acquisition de données à court, moyen et long termes sur des **essais de plein champ** conduits dans divers contextes agro-pédo-climatiques et pour une large gamme de PRO. En outre, en vue de pouvoir comparer et exploiter conjointement les données acquises dans diverses situations, il convient d'harmoniser les méthodes employées sur les essais et au laboratoire.

Ainsi, le projet « Réseau PRO », soutenu financièrement par le CASDAR et l'ADEME, **visait à créer un réseau** d'essais au champ et d'acteurs de la filière et mettre en place une **synthèse des essais de plein champ** étudiant les effets du recyclage agricole des PRO, afin de connaître et prédire les effets des épandages de PRO dans une grande diversité de situations agro-pédo-climatiques et de PRO épandus. Les **enjeux** auxquels le projet s'est proposé d'apporter des réponses portent d'une part sur l'harmonisation, au sein d'un réseau national d'essais, des méthodes d'étude et de suivi des effets des PRO au champ, et d'autre part sur la mutualisation, dans une base de données, des données acquises sur une grande diversité d'essais au champ.

L'objectif de l'intervention est de (i) présenter un état des lieux des expérimentations au champ conduites en France pour étudier le retour au sol des PRO et des jeux de données mutualisés dans le Réseau PRO, (ii) montrer le début d'exploitation des jeux de données mutualisés et la mise en évidence des références à acquérir, et (iii) replacer les travaux dans des perspectives de valorisations par les partenaires de la filière ainsi que pour les organismes publics, agences, collectivités et l'administration.

Le projet s'est appuyé sur la mise en place d'un partenariat représentatif de la filière de gestion des PRO, avec des partenaires de la recherche, du développement et de la formation : 6 instituts Techniques agricoles (ACTA, Arvalis-Institut du Végétal, Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre (CETIOM), Institut de la Vigne et du Vin (IFV), Institut Technique de la Betterave (ITB), Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)), 4 instituts de recherche et d'enseignement supérieur (Institut national de la recherche agronomique (INRA Grignon, Arras, Rennes), AgroParisTech (UMR EGC), Centre de coopération internationale





en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), VetAgroSup), l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) et 3 chambres d'agriculture (Bretagne, Ardennes, Drôme), 4 organismes de développement et de transfert agricoles (Agro-Transfert Ressources & Territoires, TRAME (Associations des agriculteurs composteurs de France et méthaniseurs de France), Association pour la relance agronomique en Alsace (ARAA), Syndicat Mixte Recyclage Agricole du Haut-Rhin (SMRA68)), 2 laboratoires (Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche (LDAR), SAS Laboratoire), 2 entreprises (Frayssinet, VEOLIA Recherche & Innovation) et l'Etablissement Public National de Rambouillet (Bergerie nationale).

Un inventaire des essais étudiant le recyclage des PRO français a été réalisé en 2012. Celui-ci a permis d'**inventorier 437 dispositifs au champ en métropole et à la Réunion** (Bell et Leclerc 2015). Les dispositifs étudiaient majoritairement (i) les effluents d'élevage, principalement étudiés en Bretagne, à la Réunion et le centre de la France, régions fortement productrices d'effluents agricoles, et (ii) les boues industrielles et urbaines, étudiées en plus grande proportion dans les régions du nord-est, région présentant un historique industriel. Suite à cet inventaire, une **banque de données** a été constituée entre les partenaires du projet, qui inclut 60 dispositifs au champ, dont 45 % sont des dispositifs d'une durée inférieure ou égale à 3 ans et 25 % des dispositifs d'une durée supérieure ou égale à 10 ans.

La mise en parallèle du contexte expérimental au champ et des jeux de données de la banque de données avec la SAU (surface agricole utile) a permis de mettre en évidence une **forte représentation des dispositifs conduits en grandes cultures**, avec environ 60 % des dispositifs inventoriés et de la banque de données, et environ 70 % des dispositifs en terres arables, ce qui est proche du taux d'occupation de la SAU par des terres arables. Au vu de cette étude, dans les essais conduits et dans la banque de données, on constate une légère surreprésentation des cultures pérennes, notamment la vigne, et une sous-représentation des prairies permanentes, en comparaison de la SAU. En outre, on relève une forte représentation des dispositifs conduits en agriculture biologique, ce qui pourrait être lié aux besoins d'acquisition de références sur les effets fertilisants azotés, notamment pour les engrais organiques utilisés en grandes cultures biologiques.

Les **thématiques principalement étudiées** sur les dispositifs au champ inventoriés concernent principalement la valeur « engrais », surtout étudiée sur des dispositifs conduits en grandes cultures, particulièrement pour étudier les effets azotés en post-apport des PRO (effets sur les rendements et la qualité des récoltes), avec 85-90 % des dispositifs inventoriés qui ont étudié la valeur fertilisante azotée. Viennent ensuite par ordre décroissant l'étude de la valeur phosphatée, de la valeur amendante organique et des éléments traces (ET).

Une **enquête** réalisée dans le cadre du projet auprès d'agriculteurs alsaciens a permis d'identifier les attentes restant à préciser et compléter sur les questions relatives au recyclage des PRO. Cette enquête a mis en évidence le besoin de disposer de références fiables et de moyens de déterminer l'effet « engrais », en particulier pour assurer une fertilisation azotée optimale à court terme tout en limitant les risques de lessivage des nitrates et d'émissions gazeuses, et pour estimer la disponibilité du phosphore (Bodet, 2014). Il s'est avéré que les agriculteurs avaient également des questionnements sur la valeur économique des PRO en comparaison avec les engrais minéraux et sur la présence éventuelle de contaminants émergents (ex. résidus pharmaceutiques et hormonaux).

Dans le cadre du projet, un **début d'exploitation et d'analyse des jeux de données des 60 dispositifs** dont les données ont été mutualisées entre les partenaires a été réalisé avec : (i) l'alimentation d'outils de gestion et de pilotage de la fertilisation azotée (Syst'N®) et du statut organique des sols (SIMEOS-AMG) (Duparque et al. 2014, Parnaudeau et Cabanes 2014), (ii) la validation de l'utilisation d'un modèle pour la prédiction de l'accumulation à long-terme des ET dans les sols agricoles (Bravin et al. 2014), et (iii) l'analyse statistique des données en éléments majeurs, pH et CEC des PRO et des sols de 6 dispositifs de longue durée INRA/Arvalis (Germain et al. 2014).





Le **bilan des essais inventoriés et des données disponibles** dans la banque de données a permis d'analyser le potentiel d'exploitation des jeux de données et a mis en évidence la diversité des contextes étudiés (PRO, cultures, sol, climat) et des variables acquises. Ce bilan a également mis en exergue une hétérogénéité de description des jeux de données et des variables acquises entre les dispositifs considérés dans la banque de données (traitements étudiés, méthodes d'analyses, variables, fréquence d'acquisition, nombre de répétitions à l'intérieur d'un dispositif). Cette hétérogénéité a compliqué l'exploitation des jeux de données. Ce bilan a également mis en évidence certaines **références à (i) compléter** avec/sur des dispositifs existants (ex. disponibilité P, gestion des risques de sur-fertilisation ; statut de la matière organique [entretien, potentiel de stockage] et effets physiques liés [stabilité, compaction] ; effets de fertilisant soufre ; risques d'émissions gazeuses et de lessivage d'azote ; (bio)disponibilité des ET et leur accumulation à long terme ; risques liés aux contaminants émergents ; effets des apports de PRO sur l'activité et la diversité biologique, la résistance aux maladies des cultures) et (ii) **acquérir** via la mise en place de nouvelles expérimentations (ex. digestats et nouveaux PRO, prairies, contextes minéralisant fortement la matière organique). Pour cela, le guide méthodologique de conduite des essais au champ élaboré dans le cadre de ce projet sera employé et les données seront mutualisées dans le système d'information en cours de développement.

Les travaux du Réseau PRO serviront aux partenaires de la recherche et de la filière PRO par exemple pour (i) exploiter les données de façon agrégée (étude des liens entre propriétés des PRO, effets observés et contexte) et alimenter/tester des OAD, modèles et indicateurs, (ii) communiquer les références aux acteurs de terrain et (iii) appréhender les futures données à acquérir et orienter les futurs programmes expérimentaux (complément à l'existant). Les travaux du Réseau PRO ayant abouti à fournir des socles communs entre acteurs de la filière, tant pour l'acquisition des données PRO au champ que pour leur exploitation, fourniront à terme aux organismes publics, agences, collectivités et à l'administration, (i) un état des lieux des connaissances acquises sur les essais au champ étudiant le recyclage agricole des PRO facilitant par exemple l'orientation de futurs financements et (ii) l'accès à des données et à des références locales/nationales.





SP3A - Préservation des sols viticoles méditerranéens et amélioration de leurs fonctions de régulation des flux d'eau et de matières associées : outils de modélisation pour le choix de pratiques adaptées

Porteur de projet : Patrick Andrieux (UMR Lisah)

Mots-clés : Régulation des flux d'eau et de pesticides, Pratiques viticoles d'entretien du sol, Chaîne de modélisation, Distributions spatiales des pratiques, Bassin versant, Acceptabilité sociale, Pesticides, Caractérisation sociotechnique

Période : 2010 – 2015

Le maintien ou la restauration de la fonction de régulation des flux d'eau et de pesticides sont des enjeux particulièrement importants en région viticole méditerranéenne du fait des risques élevés de contamination des eaux par ruissellements polluants. Cette fonction, liée à un coefficient d'infiltrabilité du sol élevé, assure au sol un rôle de tampon par rapport aux crues, à l'érosion et, potentiellement, au transfert de pesticides. Maintenir ou restaurer la fonction de régulation du sol dans un bassin versant viticole revient à identifier des pratiques d'entretien du sol et des distributions spatiales de ces pratiques qui participent à la préservation ou restauration de l'infiltrabilité tout au long de l'année. Ces pratiques doivent par ailleurs être potentiellement acceptables par les viticulteurs. Identifier ces pratiques et leurs répartitions nécessite d'être en mesure d'évaluer leurs bénéfices et leurs coûts, c'est à dire : (1) les effets des pratiques et de leur répartition spatiale sur la fonction du sol à préserver et (2) les contraintes de mise en œuvre de ces pratiques. Sur ces deux points, les connaissances et les outils de modélisation sont encore insuffisants pour réaliser ces évaluations aux échelles spatiales et temporelles pertinentes.

L'objectif du projet est d'identifier et d'évaluer, en viticulture méridionale, les modalités d'entretien du sol et les répartitions spatiales de ces modalités permettant de réduire, à l'échelle du bassin versant, la contamination des eaux de ruissellement par les herbicides, tout en étant économiquement, techniquement et socialement acceptables par les viticulteurs.

La démarche repose sur l'identification à dire d'experts de stratégies de réduction de l'usage des herbicides, dites « stratégies candidates », à l'échelle du bassin versant. Ces stratégies définissent (i) des cibles à atteindre en termes d'intensité d'utilisation d'herbicide aux échelles de la parcelle et du bassin versant, (ii) des modalités d'entretien du sol permettant l'atteinte de ces cibles, tout en réduisant les risques de ruissellement et (iii) des règles de répartition des modalités entre les différentes parcelles en vigne du bassin versant.

Les stratégies ont été ensuite soumises à une double évaluation. Une première évaluation des performances environnementales et productives permises par la mise en œuvre de ces stratégies, a été effectuée aux échelles du bassin versant et/ou de la parcelle. Ces évaluations ont été réalisées à l'aide d'une chaîne de modèles, dont certains ont été développés au cours du projet, originale. Une seconde évaluation des possibilités de changement de pratique à partir d'enquêtes auprès des agriculteurs a ensuite été effectuée. Cette deuxième évaluation a été réalisée sur la base d'entretiens auprès d'un échantillon de viticulteurs du bassin versant.

Les résultats de chacune de ces évaluations ont été comparés pour établir un bilan des impacts environnementaux et productifs des stratégies proposées. Ils doivent également fournir des pistes de choix de nouvelles stratégies mieux adaptées aux contraintes des viticulteurs. L'analyse à dire de viticulteurs et les résultats des évaluations par modèles convergent vers la question de l'introduction de plus de flexibilité dans la définition des stratégies de réduction des usages d'herbicide et des modalités d'entretien du sol associées.





Une analyse des réseaux socio-techniques existant sur le bassin versant du Rieutort montre une capacité sociale collective de changement en termes de pratiques. Alors qu'actuellement la norme concernant le contrôle de l'enherbement soit centrée sur le désherbage chimique, la norme technique locale admet des pratiques alternatives sur une partie ou l'ensemble du bassin viticole.

Un séminaire de synthèse et de bilan réunissant les chercheurs, animateurs et gestionnaires de bassins a permis de confronter les avis sur les résultats obtenus. Des perspectives d'adaptation de la démarche et des modèles permettant une utilisation par les animateurs de bassins sont proposées.

Valorisations :

Gaudin, R. and Gary C., 2012. Model-based evaluation of irrigation needs in Mediterranean vineyards. *Irrigation Science*, 30(5), 49-459, doi : 10.1007/s00271-012-0349-x.

Guilpart N. 2014. Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes: compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oïdium. in : Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro, 27 février 2014. Montpellier. 180pp. (partiellement issue du projet SP3A)

Guilpart N., Metay A., Gary C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54 (Mar.), 9-20, doi : 10.1016/j.eja.2013.11.002.

Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Paré N., Voltz M., Biarnès A. (Soumis) Modelling management practices in viticulture taking resource limitations into account, *Environmental Modelling & Software*

Pare N., 2011. Pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole languedocien. Construction d'un modèle couplé pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Thèse de Doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier, 301 pp. et annexes. (partiellement issue du projet SP3A)

Pare, N., Andrieux, P., Louchart, X., Biarnes, A., Voltz, M., 2011. Predicting the spatio-temporal dynamic of soil surface characteristics after tillage. *Soil & Tillage Research*, 114, 135-145, doi:10.1016/j.still.2011.04.003. (partiellement issue du projet SP3A).

Les documents et séminaires techniques (fiches, brochures et articles) :

Andrieux, P. et Biarnes, A. (coord.), 2011. Séminaire de lancement du projet SP3A. Campus Montpellier SupAgro, 23-05-2011. Participation opérateurs de terrain (chambre agriculture, bureau d'étude, animateurs de bassins, Dreal).

Andrieux, P. et Biarnes, A. (coord.), 2012. Atelier de réflexion et de construction des stratégies de réduction des usages d'herbicides. Campus Montpellier SupAgro, 31-05-2011. Participation opérateurs de terrain (chambre agriculture, bureau d'étude).

Andrieux, P. et Biarnes, A. (coord.), 2015. Forum final de restitution des résultats et de croisement des points de vue issus sur les résultats du projet SP3A. Campus Montpellier SupAgro, 18-03-2015. Participation opérateurs de terrain (chambre agriculture, bureau d'étude, animateurs de bassins, Dreal, animateurs régionaux qualité des eaux et captages).

Gary C., 2014. Table ronde « Changer de modèle agricole ». Colloque AGDUQUE (Agriculture Durable et Qualité de l'Eau), 13 novembre 2014, Perpignan. <http://www.perpignanmediterranee.com/Preservation-des-ressources-en-eau...-Un-colloque-historique---6017.phtm>

Gary C., Ripoche A., Celette F., Metay A., Bouisson Y., Gaudin R., 2011. Des stratégies adaptatives d'enherbement des parcelles viticoles pour des performances agronomiques et environnementales régulières. Actes 4ème journée Scientifique sur la Vigne et le Vin, Montpellier, 20 mai 2011, 21-24.

Gary C., Gaudin R., Metay A., 2014. Gestion de l'entretien du sol et fonctionnement hydrique du vignoble. Carrefours de l'Innovation Agronomique (CIAG) : « Viticulture et stress hydrique », 17 juin 2014, Montpellier. <http://www6.inra.fr/ciag/Colloques-Agriculture/Viticulture-et-stress-hydrique>

Kazakou E., Fried G., Richarte J., Lesniak V., Guilpart N., Andrieux P. et Metay A., 2012. Réponses de la flore adventice aux différents modes d'entretien du sol et effets sur la croissance de la vigne : le cas du domaine du Chapitre (Hérault). Actes 5ème journée Scientifique sur la Vigne et le Vin, Montpellier, mai 2012, 4 pages.





SpecBio - Indicateurs spectraux de qualité biologique des sols

Porteur de projet : Bernard BARTHES (IRD Montpellier, UMR Eco&Sols)

Mots-clés : Matière organique du sol, Métrologie, Spectroscopie infrarouge, Protection physique du carbone du sol, Respiration du sol, Température.

Période : 2010 – 2012

Il existe une demande forte des utilisateurs, des gestionnaires et des décideurs pour des outils de diagnostic et de pilotage de la qualité des sols qui soient rapides et peu coûteux à mettre en œuvre. La spectroscopie infrarouge (IR) quantitative a fait la preuve de sa capacité à prédire avec précision, rapidement et à faible coût, différentes propriétés élémentaires des sols, par exemple teneurs en carbone (C) organique, azote (N) total, argile, etc. Sa capacité à prédire des propriétés plus complexes est moins bien renseignée.

L'objectif du projet SpecBio était d'évaluer le potentiel de la spectroscopie IR quantitative pour caractériser la protection physique de C dans les sols et la vulnérabilité de cette protection au réchauffement. La protection physique de C dans les agrégats est l'une des formes de séquestration de C dans le sol, la plus affectée par les modes de gestion et d'usage, à côté de la récalcitrance biochimique (liée à la composition des matières organiques) et de la sorption sur les surfaces minérales (liée à la minéralogie et à la texture).

Deux populations de 100 échantillons de sol superficiel chacune ont été étudiées :

- l'une provenant de France, issue du Réseau de mesures de la qualité de sols (RMQS), constituée de sols acides (Bretagne, Massif Central, Alpes, Pyrénées, etc.) ;
- l'autre provenant de la moitié septentrionale de la Tunisie, constituée de sols calcaires.

Des spectres proche IR (PIR, 1100-2500 nm) et moyen IR (MIR, 2,5 -25 μ m) ont été acquis sur ces échantillons, qui ont ensuite été incubés pendant trois semaines, tamisés à 2 mm ou broyés à 0,2 mm, à 18°C ou 28°C. Ces incubations ont permis de mesurer la respiration du sol (dégagement de gaz carbonique, CO₂). Le carbone protégé physiquement a été défini comme la différence entre la respiration du sol broyé et du sol tamisé. En effet, la matière organique protégée dans les agrégats de taille 0,2-2 mm est inaccessible aux microorganismes dans le sol tamisé, mais leur devient accessible quand ces agrégats sont cassés par broyage ; C initialement protégé est donc déprotégé par broyage et peut être consommé par les microorganismes du sol, d'où un surplus de respiration. La vulnérabilité de cette protection au réchauffement a été définie comme la différence entre C protégé à 18°C et à 28°C.

La spectroscopie quantitative requiert un étalonnage statistique des spectres (ici PIR et MIR) sur des données acquises de manière conventionnelle (ici la respiration du sol, la protection physique de C et sa vulnérabilité au réchauffement), ce qui revient à exprimer ces données en fonction des spectres. La caractérisation conventionnelle des données considérées est souvent fastidieuse et/ou coûteuse, alors que l'acquisition des spectres est rapide (< 1 min/échantillon) et peu coûteuse (pas de consommables), ce qui fait l'intérêt de la spectroscopie IR.

Comme anticipé, les spectres PIR et MIR permettent de prédire avec précision les teneurs en C (total, organique, inorganique) et en N total sur les deux populations d'échantillons. Ces prédictions sont très précises pour les sols tunisiens ($R^2 \geq 0,95$ entre mesures et prédictions, sauf à partir des spectres MIR de sol tamisé à 2 mm : $R^2 \geq 0,84$), un peu moins pour les sols français ($R^2 = 0,77-0,91$), pour les lesquels les résultats sont meilleurs en MIR ($R^2 \geq 0,88$).

Les spectres PIR et MIR permettent également de prédire avec précision la respiration des échantillons tunisiens ($R^2 \geq 0,71$) ; les prédictions les plus précises sont obtenues à partir des spectres PIR de sol broyé ($R^2 \geq 0,85$). La protection physique de C est bien prédite dans certains cas, notamment en début d'incubation ($R^2 \geq 0,65$ sur 7 jours, et même $R^2 \geq 0,84$ à partir des spectres PIR de sol broyé), moins bien en fin d'incubation,





surtout à 28°C (les données sur les fins d'incubation à 28°C ne semblent pas complètement fiables). La vulnérabilité de la protection physique de C au réchauffement est mal prédite par les spectres ; la détermination conventionnelle de cette vulnérabilité résulte de la différence entre les quantités de C protégées à 18 et 28°C, elles-mêmes calculées par différence entre les respirations du sol broyé et tamisé, et est donc entachée d'une forte imprécision, qui rend difficile l'ajustement des spectres.

Dans le cas des échantillons français, les prédictions de la respiration à partir des spectres PIR et MIR sont décevantes en général ($R^2 \leq 0,71$), et les prédictions de C protégé physiquement sont mauvaises ($R^2 < 0,3$). Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ces moins bons résultats que pour la Tunisie :

- la plus grande hétérogénéité minéralogique de la population d'échantillons, compliquant l'étalonnage de leurs propriétés organiques ;
- par suite du prélèvement des échantillons sur une décennie environ (vs. sur quelques semaines en Tunisie), une hétérogénéité de l'état des communautés microbiennes du sol (formes dormantes dans certains cas) rendant moins étroite la relation entre respiration du sol et substrats organiques appréhendés par spectroscopie IR.

L'examen des longueurs d'ondes contribuant le plus aux prédictions permet d'identifier les composés impliqués dans les processus considérés ; il a été réalisé seulement pour les échantillons tunisiens (meilleures prédictions). Cet examen montre que la respiration du sol est favorisée par sa richesse en composés azotés (notamment protéines). La richesse en composés organiques aliphatiques (polysaccharides par exemple) favorise également la respiration, tandis que la richesse en composés aromatiques favorise la respiration seulement à 28°C ; en effet, les composés aliphatiques, relativement labiles, sont consommés plus rapidement à 28°C, et les microorganismes utilisent ensuite des composés aromatiques, plus récalcitrants. La protection physique de C apparaît également favorisée par la richesse du sol en composés aliphatiques et azotés. De plus, les prédictions utilisant les spectres PIR suggèrent une influence négative des organochlorés sur la respiration du sol et la protection de C (le groupe des organochlorés inclut de nombreux pesticides). Les prédictions utilisant les spectres MIR suggèrent également que la richesse en carbonates influence négativement la respiration du sol et la protection physique de C, et donc, que les carbonates sont peu impliqués dans l'émission de CO₂ (en tout cas lors d'incubations de trois semaines).

Le projet SpecBio confirme l'intérêt de la spectroscopie IR quantitative pour fournir des indicateurs de qualité des sols et montre qu'elle peut même produire des informations relativement complexes (protection physique de C). Ce type d'approche a toutefois des limites : en particulier, il importe que les populations d'échantillons utilisées pour étalonner les spectres n'intègrent pas de trop forte hétérogénéité ; il importe également que les données conventionnelles utilisées pour l'étalonnage ne soient pas entachées d'une trop forte imprécision (par exemple propagation d'erreur).

Valorisations :

Grinand C., Barthès B., Brunet D., Kouakoua E., Arrouays D., Jolivet C., Caria G., Bernoux M. 2012. Prediction of soil organic and inorganic carbon contents at a national scale (France) using mid-infrared reflectance spectroscopy (MIRS). European Journal of Soil Science, April, 63, 141–151.

Les documents et séminaires techniques (fiches, brochures et articles) :

Thébault A., 2012. Utilisation des spectres infrarouges en sciences du sol. Régressions PLS avec calibration locale ou globale. Routine sous R. Montpellier SupAgro, UMR Mistea, 121 p.





TRACES - Les traits de la faune du sol pour relier les changements environnementaux aux fonctions du sol

Porteur de projet : Florence Dubs (IRD Bondy)

Mots-clés : Faune du sol, Traits fonctionnels, Règles d'assemblage, Métacommunautés, Paysage proche, Préférence d'habitat, Traits d'effet, Modélisation SMA

Période : 2010 – 2014

Le rôle du sol est reconnu dans les politiques publiques européennes. Cette reconnaissance requiert des données sur le sol, sa biodiversité et les liens avec les fonctions du sol. La biodiversité a un rôle central dans la mise à disposition de la plupart des services écosystémiques (production, entretien, culturelle, esthétique). En termes de politiques publiques, on voit bien l'intérêt de porter une attention accrue aux fonctionnements écologiques des écosystèmes car ils sont au cœur de la relation entre la biodiversité et les services écosystémiques. Au sein des écosystèmes terrestres, le sol est l'un des habitats les plus riches en biodiversité. Paradoxalement, nos connaissances actuelles de la taxonomie et des fonctions écologiques des organismes du sol restent des plus faibles. Or la biodiversité est un facteur essentiel à la production des services écosystémiques et doit donc être au cœur de toute approche portant sur l'évaluation des fonctions écologiques. Et pour guider la mise en œuvre de politique de gestion des sols, il faut tout d'abord évaluer les effets des activités humaines sur les fonctions du sol et sa biodiversité.

En intégrant des champs théoriques venant de différents champs disciplinaires, ce projet a pour but de quantifier les traits de réponse et d'effet de certains assemblages d'espèces dominants au sein des invertébrés du sol (macrofaune saprophyte, collembole) et d'identifier l'effet de la structure du paysage proche sur ces communautés. Plus précisément, il a été question : de décrire l'impact des facteurs locaux et paysagers sur les assemblages locaux d'espèce; d'étudier les mécanismes biologiques (dispersion, préférence d'habitat, compétition) qui conditionnent ces assemblages ; d'étudier l'impact d'espèces saprophytes sur le fonctionnement du sol ; d'identifier les traits permettant d'expliquer les réponses et les effets des assemblages de faune du sol. Enfin, de concevoir un modèle de spatialisation des règles d'assemblage pour analyser, en se basant sur les mécanismes sous-jacent, l'impact des facteurs qui contrôlent la diversité et l'abondance des assemblages d'invertébrés.

Nous trouvons que les communautés de faune du sol étudiées sont essentiellement gouvernées par la sélection de l'habitat, indiquant pour ces taxa une adéquation de la distribution des espèces à la niche. Cependant dans trois cas (vers de terre dans les deux régions d'étude, Normandie et Morvan et collemboles dans le Morvan) la distribution des espèces résulte d'un compromis entre adéquation à la niche et dispersion. On observe un filtrage hiérarchique de la communauté des traits des espèces localement présente qui se traduit par une augmentation de la diversité fonctionnelle des assemblages locaux d'espèces face au contraste du paysage proche tandis que l'intensification locale de l'usage du sol entraîne une perte de redondance fonctionnelle. Ceci confirme empiriquement la théorie selon laquelle les facteurs environnementaux agissent comme des filtres emboîtés sur les traits des espèces. Le type d'habitat local et la structure du paysage proche influence les assemblages d'espèces de manière complémentaire avec un filtrage des traits écologiques par le paysage proche et un filtrage des traits principalement morphologiques par l'intensification locale de l'usage du sol.

Nous trouvons que la distribution des espèces de collemboles en forêt ou en prairie est le résultat de différents compromis qui vont déterminer leur préférence d'habitat. Les espèces forestières présentent un compromis entre leur tolérance vis-à-vis de la dessiccation et leur préférence pour





certaines ressources trophiques et/ou environnements physico-chimiques, tandis que la plus part des espèces prairiales présentent un compromis entre capacité compétitive (faible) et tolérance physiologique (forte). Quelques espèces de prairie montrent à la fois une préférence pour le sol et pour le microclimat forestier et sont donc vraisemblablement exclues du milieu forestier par la compétition avec les espèces de forêt.

A une échelle micro-locale, nous trouvons que les ressources trophiques modifient le patron d'exploration de l'habitat par les collemboles hémi- et euédaphiques même si ces patterns sont idiosyncratiques au sein d'une même forme de vie. Les comportements d'exploration de l'habitat par les vers de terre présentent aussi un caractère idiosyncratique et sont influencés, par le type de communautés de microorganismes du sol ainsi que par la densité intra-spécifique. Ils sont le résultat d'un compromis entre les mécanismes de construction de niche où les individus s'agrègent et la compétition intra-spécifique qui pousse les individus à se disperser. Par ailleurs, les catégories écomorphologiques des vers de terre ne sont pas de bons proxys pour établir des groupes fonctionnels d'effet sur la stabilité des agrégats du sol. Les vers de terre ont globalement un effet neutre ou de protection de la matière organique du sol même s'il apparaît que la minéralisation puisse être augmentée pour les sols arables et prairiaux.

Enfin, la conception d'un modèle multi-agents pour analyser les mécanismes de réponse de la biodiversité du sol à la dynamique du paysage est présentée. Le projet TRACES confirme l'intérêt de sortir des approches compartimentées par discipline (pédologie, taxonomie, écologie du sol) et de croiser les théories venant de champs différents de l'écologie (écologie végétale, écologie des communautés, écologie du paysage) pour les appliquer à l'écologie du sol. Encore peu d'études utilisent la faune du sol pour tester les modèles de metacommunauté et, à notre connaissance, c'est la première tentative d'analyse de l'effet conjoint des facteurs locaux et paysagers sur plusieurs taxons de faune du sol, dans différentes régions. Nous trouvons donc que majoritairement, les peuplements de faune du sol sont pilotés par une adéquation à la niche écologique mais que la dispersion semble aussi jouer un rôle. Le projet TRACES confirme le rôle du paysage proche dans la composition des assemblages locaux d'espèces de faune du sol. Ainsi, en termes de gestion et d'aménagement des paysages, s'il est déjà bien admis que la qualité de l'habitat est à prendre en compte pour favoriser la biodiversité (dont celle du sol), la nature du paysage proche serait aussi à considérer dans les pratiques d'aménagements afin de favoriser le maintien de la biodiversité du sol et de ces fonctions attachées.

Valorisations :

Chauvat M., Perez G., Ponge JF. 2014. Foraging patterns of soil springtails are impacted by food resources. *Applied Soil Ecology*, Elsevier, 82 (October), pp.72-77.

Dubs F, Barot S, Blouin M, Chauvat M, Decaëns T, Hedde M, Ponge JF, Salmon S. 2010. Les TRAits de la faune du sol pour relier les Changements Environnementaux aux fonctions du Sol (TRACES). *Ecologie 2010 – Montpellier – 2-4 Septembre 2010*

Dubs F, Salmon S, Ponge JF. 2012. Collembolan functional response to landscape intensification. *XIII-ICA – Coimbra – 13-14 Août 2012*

Heiniger C, Dubs F, Ponge JF, Salmon S, David C, Jacques M, Barot, S. 2012. Experimental design disentangling habitat preferences and interspecific competition as constraints structuring Collembolan species assemblage. *XIII-ICA – Coimbra – 13-14 Août 2012*





Uqualisol-ZU - Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine - application du bassin minier de Provence

Porteur de projet : Samuel ROBERT (CNRS Aix)

Mots-clés : Aménagement urbain, Bassin minier de Provence, Conservation des sols, Indicateurs, Plan Local d'Urbanisme (PLU), Qualité des sols

Période : 2010 – 2012

Dans la plus grande partie du monde, le rôle tenu par les sols dans le développement économique et social des territoires est tout à fait majeur. Support des activités humaines, les sols sont d'abord un substrat, une surface sur laquelle se déploient et s'organisent les sociétés (sol-espace). Ils sont aussi et surtout une ressource pourvue de qualités et de propriétés qui permettent à certaines activités, en premier lieu l'agriculture, de prospérer (sol-épaisseur). Simultanément, les sols remplissent des fonctions qui ne servent pas directement la société, mais qui n'en sont pas moins essentielles, comme par exemple la conservation d'une partie de la biodiversité ou encore l'épuration ou la filtration de certaines substances contenues dans l'environnement. Les différentes dimensions des sols font qu'ils sont une composante fragile et indispensable des anthroposystèmes, notamment dans les zones urbaine et périurbaine où la pression exercée sur les sols est intense. Du fait de l'étalement urbain, des contaminations diverses liées aux activités urbaines, et des friches créées par l'évolution des villes, la gestion et la conservation des sols apparaissent comme un enjeu de premier ordre. Ces objectifs posent tout particulièrement la question de la planification des usages des sols, c'est-à-dire les choix et les réglementations en matière d'occupation et d'usage possible dans les documents d'urbanisme, et celle de la prise en compte de la qualité des sols dans l'élaboration de ces choix et règlements.

Dans le cadre de l'Appel à Propositions de Recherche 2008 du programme GESSOL 3, le projet UQUALISOL-ZU s'est donné pour ambition de mettre en perspective le droit de l'urbanisme avec la connaissance scientifique de la qualité des sols. L'objectif était triple : évaluer comment le droit permet d'intégrer une connaissance de la qualité des sols dans le processus de planification de l'usage des sols (1), évaluer quelle connaissance de la qualité des sols peut être produite pour être utilisée par le planificateur (2), et produire une application dans le contexte périurbain du bassin minier de Provence, aux portes d'Aix-en-Provence et de Marseille (3).

Les travaux ont été conduits de façon interdisciplinaire par une équipe de chercheurs issus des sciences du sol, de la géographie, des sciences juridiques et de l'écologie. Ils ont permis d'établir un état de l'art critique de la prise en compte de la qualité des sols dans les démarches d'élaboration des règlements d'urbanisme en France et un état de l'art des indices de qualité des sols dans la littérature scientifique. A partir de l'étude approfondie de deux communes péri-urbaines de la région de Marseille / Aix-en-Provence, (cartographie de l'évolution de l'occupation des sols sur plusieurs décennies et à plusieurs échelles ; études de documents d'urbanisme réglementaire ; entretiens avec les acteurs locaux), une expérimentation consistant à proposer un indice de polyvalence d'usage des sols a été menée et discutée. Cet indice, dont les résultats sont spatialisés et peuvent être intégrés dans un SIG, constitue un résultat inédit dont la mise à l'épreuve future sur d'autres terrains est souhaitée. De même, un effort particulier pour l'évaluation de la qualité des sols dans les espaces intra-urbains est envisagée comme une suite à donner par l'équipe du projet.





Valorisations :

Keller C., Ambrosi J.-P., Rabot E., Robert S., Lambert M.-L., Criquet S., Ajmone Marsan F., Biasioli M. (2012). "Soil Quality Assessment for Spatial Planning in Urban and Peri-Urban Areas - Municipalities of Gardanne and Rousset (southern France)". *Bulletin of the European Land and Soil Alliance Local land & soil news*, 40/41 : 12-14.

Keller C., Lambert-Habib M.-L., Robert S., Ambrosi J.-P., Rabot E. « Méthodologie pour la prise en compte des sols dans les documents d'urbanisme : application à deux communes du bassin minier de Provence ». *Sud Ouest Européen*. Sous presse.

Keller C., Ambrosi J.-P., Ajmone Marsan F., Biasioli M., Criquet S., Lambert-Habib M.-L., Ménard T., Rabot E., Robert S. (2011). Soil quality assessment for urban planning: linking soil science, geographical analysis and law: the Uqualisol-ZU project. *First International and Interdisciplinary Symposium "Sustainability: Focus on Urban and Peri-Urban Development"*, 1st -3rd September 2011, Liverpool, UK. Oral presentation.

Keller C., Robert S., Lambert-Habib M.-L., Ambrosi J.-P., Rabot E., Criquet S., Ajmone Marsan F., Biasioli M. (2012). Soil quality assessment for spatial planning in urban and peri-urban areas (southern France). *.EUROSOIL*, 2nd -6th July 2012, Bari, Italy. Poster.





VitiEcoBioSol - Les sols de vigne vivants : comment gérer ce patrimoine à la base de la pérennité du vignoble de Champagne ?

Porteur de projet : Daniel Cluzeau (Université de Rennes 1, UMR CNRS EcoBio)

Mots-clés : Agro-système Viticole, Microorganismes, Lombriciens, Pratiques agro-viticoles, AOC, Conservation des sols, Evaluation écologique

Période : 2011 – 2013

Les sols viticoles représentent un patrimoine de production irremplaçable : la profession viticole est aujourd'hui de plus en plus consciente que cette valeur patrimoniale ne tient pas uniquement à une délimitation sur des critères géographiques ou pédologiques, mais qu'elle repose également sur une « qualité » intrinsèque des sols et qu'elle doit être protégée. Or, maintenir les sols viticoles dans le meilleur état structural et biologique possible nécessite d'une part, de pouvoir définir ces états de façon objective et d'autre part, de pouvoir évaluer les effets à court, moyen et long terme des pratiques sur cette biodiversité des sols. La conservation de la diversité lombricienne dans les sols viticoles est souvent prise en compte en relation avec leurs impacts fonctionnels sur les compartiments physique, chimique et biologique des sols ainsi que les services écosystémiques associés (Blouin & al, 2013). En Champagne comme dans les autres vignobles, il est vital de maintenir voire d'améliorer la qualité des sols à travers le choix de pratiques agro-viticoles appropriées.

En Champagne, la première étude sur la biodiversité lombricienne (Cluzeau et al, 1987) a permis de démontrer aux Services Techniques du CIVC que ces lombriciens étaient des indicateurs des usages des parcelles inventoriées, complémentaires des analyses physico-chimiques qui renseignaient sur la nature des sols et les potentialités agroviticoles. Cette 1ère étude a permis aussi d'alerter les professionnels sur l'altération de la biodiversité lombricienne et des services potentiellement rendus dans les vignes de Champagne ; ceci eut pour conséquence la mise en œuvre par le CIVC, d'une recherche-développement basée sur 3 axes principaux : (1) Identifier prioritairement les pratiques viticoles les plus dégradantes pour stopper la disparition des lombriciens dans les vignes de Champagne. / (2) Identifier les pratiques permettant la restauration de ces populations pour préserver & améliorer le statut des espèces encore présentes. / (3) Identifier de nouvelles pratiques alternatives qui compenseraient les perturbations récurrentes moyennes liées à des pratiques historiques et généralisées pour favoriser le retour des espèces les plus sensibles et ainsi favoriser l'assurance d'un fonctionnement écologique des sols champenois.

Au cours des 20 années pendant lesquelles ces recherches ont été conduites sur le vignoble de Champagne, 19 sites, principalement dans la Montagne de Reims, la vallée de la Marne & la Côte de Sézanne, ont été étudiés à travers leurs composantes biologiques (microorganismes, communauté lombricienne) et leurs composantes agronomiques. Ces parcelles avaient leur thématique propre faisant écho aux pratiques des viticulteurs. L'antériorité de ces parcelles et la fréquence de mesure ont varié.

Cela nous a donc permis d'identifier une pratique qui impacte très négativement toutes les espèces lombriciennes en détruisant 95% des individus : l'application de nématicides avant la plantation (en 1995, 100% des parcelles plantées subissent une désinfection de fond). Le conseil a rapidement recommandé l'abandon de cette pratique à partir de 1996, ce qui aboutit à la régression de la pratique (45% des surfaces plantées en 2003, 7% en 2008, ...). D'autres pratiques n'impactent que certaines espèces : les herbicides de pré-levée associés à la stratégie du sol nu et la protection fongique basée sur le cuivre sont défavorables aux anéciques stricts et à 2 espèces endogées *A.ictérica* et *O.cyanum*. Le lombric commun, *L.terrestris* (épi-anécique), apparaît moins sensible et profite ainsi de l'absence de concurrents directs anéciques pour se développer. L'impact négatif du cuivre a été largement étudié (Cluzeau & Fayole, 1988 ; Chaussod & al, 1995 ; Eijsackers & al, 2005 ; Fernandez & al, 2010 ; Udovic & Lestan, 2010 ; Wightwick & al, 2006 & 2008). Pour réduire ces effets négatifs, la réduction de dose est reconnue pour les herbicides depuis longtemps (Dawson & al, 1968) et a été promue par le CIVC dès 1997 (Descôtes & Moncomble). De même, des pratiques perturbant mécaniquement





ces sols viticoles (tassement à la plantation, passage d'engins lourds sur sols non ressuyés) impactent négativement cette espèce peu sensible aux pesticides, le lombric commun (épi-anécique).

A côté de ces pratiques directement négatives, d'autres impactent indirectement: le brûlage des sarments et bois de taille empêche des retours de matières organiques au sol qui pourraient contribuer à compenser les effets négatifs directs de certaines pratiques. De même, une fertilisation exclusivement minérale limite aussi la restauration de ces lombriciens.

Ainsi, la mise en œuvre de cette démarche intégrative a été concomitante de nombreux changements qui sont intervenus dans le conseil technique et les pratiques du vignoble. Cette mutation en profondeur est le résultat du transfert des connaissances scientifiques progressivement acquises combiné à des changements de paradigme dans le conseil des professionnels.

Globalement, les abondances lombriciennes totales ont augmenté en moyenne de 158% sur les 10 à 15 années d'observation dans les principaux sites expérimentaux suivis en Champagne en passant de 21 à 67 ind./m². Toutefois, cette augmentation générale est associée à une grande hétérogénéité site par site. La première implication pratique à tirer de ces résultats est que les sols viticoles champenois sont bien vivants, et que dans l'ensemble les niveaux d'activité biologique ont progressé et sont devenus tout à fait corrects. Toutefois, de telles évolutions positives nous incitent à la prudence dans l'interprétation des augmentations des abondances en relation avec l'évolution des pratiques car les viticulteurs contactés pour mettre en œuvre des suivis long terme chez eux sont des professionnels motivés par ces questions de pratiques plus respectueuses de l'environnement et de la biodiversité des sols en particulier : les échanges annuels entre les chercheurs, les conseillers et ces professionnels aboutissent à accélérer la mise en œuvre de ces bonnes pratiques identifiées au fur et à mesure de ce programme Viti2000.

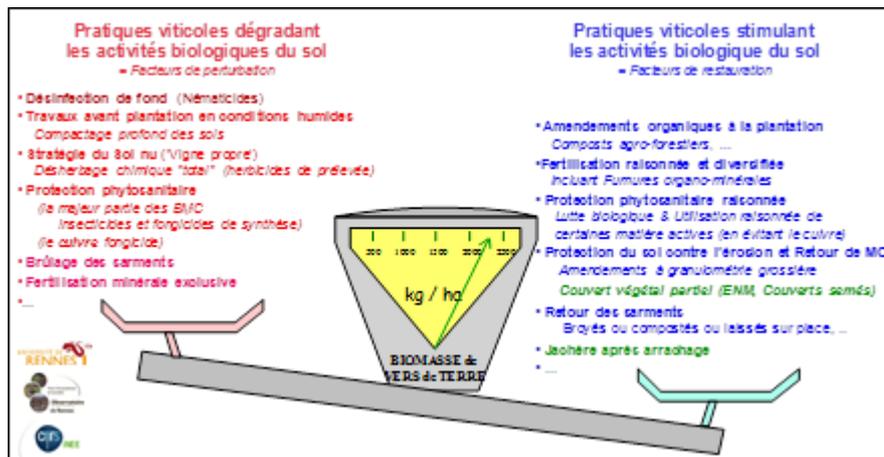


Figure 1: Pratiques agro-viticoles diagnostiquées comme soit facteurs de perturbation, soit facteurs de restauration des communautés lombriciennes dans les sols du vignoble de Champagne

Ces travaux présentent l'intérêt de prendre en considération simultanément deux acteurs majeurs du fonctionnement biologique des sols : les lombriciens & les microorganismes. Au total, ces résultats forment une base de données inégalée à ce jour en France, à partir de laquelle il est possible de répondre à de multiples interrogations, qu'elles émanent de la profession (les viticulteurs champenois et leurs conseillers), de responsables administratifs, ou de simples citoyens.

Nous proposons en guise de perspectives, que l'utilisation de protocoles simplifiés dans le cadre d'une action de recherche participative initiée depuis 2010 par l'OPVT (Observatoire Participatif des Vers de Terre) avec divers partenaires (MNHN, OFSV) permettrait d'étendre ces premiers inventaires de référence à l'ensemble du vignoble champenois ainsi qu'à d'autres vignobles (Loire, Gascogne, Beaujolais, ..). Nous avons de bonnes





raisons de penser que les viticulteurs sont prêts à contribuer directement à cette prochaine étape de l'évaluation de la biodiversité lombricienne dans leurs parcelles.

Liste des participants





NOM	Prénom	Organisme
ADLER	Emmanuel	Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris
AHMED	Toilhati	CAMG
ALLIOT	Antoine	Curry vavart
ALLONIER	Anne Sophie	Agence De L'eau Seine Normandie
ANDRIEUX	Patrick	INRA
ARNAUDUC	Jean-Pierre	Fédération Nationale des Chasseurs
ASFAUX	Denis	Association Française d'Agroforesterie
AUMOND	Claire	InVivo
BACHOLLE	Christophe	Uteam
BAGUR	Julia	SEDE Environnement
BALLOY	Benjamin	Chambre d'Agriculture France (APCA)
BARBOT	Christophe	Chambre d'Agriculture de Région Alsace
BARRIUSO	Enrique	INRA
BARSALINI	Lucas	ENSIAME-Ecoles des Mines Paris-UPMC
BARTHES	Bernard	IRD
BATAILLARD	Philippe	BRGM
BAUDRIN	Guillaume	Aucun
BAVEYE	Philippe	AgroParisTech
BECHET	Beatrice	IFSTTAR - IRSTV
BEGUIN	Philippe	Normandie Eco-Entreprises
BELLEC	Philippe	CGEDD
BERGHEAUD	Valerie	INRA
BERGHMAN	Mélanie	ECOVEGETAL
BERRIER	Pierre-François	Bureau étude indépendant
BERTHELIN	Jacques	Académie d'Agriculture et CNRS
BERTRAND	Benoit	Eurofins Analyses pour l'environnement France
BILLET	Philippe	Institut de droit de l'environnement
BINET	Aude	FLAME - fédération des agences locales de l'énergie et du climat
BISONE	Sara	IRSTEA Lyon
BISPO	Antonio	ADEME
BITAUD	Corinne	MAAF-DGER
BLAVET	Frédéric	Agir Eco Terre
BLUM	Winfried E.H.	Universitaet fuer Bodenkultur Vienne /Autriche
BONNEFOND	Mathieu	Conservatoire national des arts et métiers- ESGT
BONNET	Annie	MEDDE/CGDD/SSEIDD/IDPP3
BOUCHI-LAMONTAGNE	Jean-Claude	Collectivité territoriale
BOUDAA	Walid	LMTPB
BOUGON	Nolwenn	ONEMA





BOUKCIM	Hassan	VALORHIZ
BOULANGER	Yannick	Curry vavart
BOULLEMANT	Amiel	RIO TINTO
BOUTET	Didier	CITERES Université de Tours
BRAEMER	Frank	CNRS
BRAUD	Isabelle	Irstea
BRETONNET	Brigitte	BBC
BRIVES	Helene	isara-Lyon
BROCHIER	Violaine	EDF R&D
CADILLON	Christine	Direction départementale des territoires
CAHUREL	Jean-Yves	IFV
CANDELIER	Sandrine	ADEME
CANIVE	Jérôme	ADREE
CANNAVO	Patrice	Agrocampus Ouest - Unité EPHor
CARLES	Marie	IAU île-de-France
CARLIER	Annabelle	Halluin 3R
CARPENTIER	Mathilde	terre net média
CARRE	Florence	INERIS
CATELOY	Olivier	DDT Oise et DGALN
CAVALLIER	Francois	E2S
CECILLON	Lauric	IRSTEA
CHARBONNIER	Edwige	INRA
CHARVET	Ronald	Ville de Paris
CHENU	Claire	AgroParisTech
CHOUZENOUX	Patric	Commune de CONDAT SUR VEZERE 24570 SFDE
CLAVEIROLE	Cécile	CESE
CLUZEAU	Daniel	Univ.Rennes 1 - UMR CNRS EcoBio
COLLET	Bastien	ADEME
COMPAGNONE	Claude	AgroSup Dijon
CONSTANS-MARTIGNY	Carole	DGALN/DHUP/QV3
CORSON	Michael	INRA
CORTET	Jérôme	Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175
COUTURIER	Alain	artport.org
CREVOISIER	Anais	Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne
CRUZ RAMOS	Hugo	Sup'Biotech
CUENIN	Stephanie	Agence des Espaces Verts-Région IdF
CURMI	Pierre	AgroSup Dijon
DAVIERE	Anne-Laure	Bureau d'études IETI
DAVY	Maxime	Ctifl / Sileban
DEGAN	Francesca	Université François Rabelais de Tours
DELALANDE	Claire	ADEME
DELOLME	Cécile	Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et





		Anthropises, ENTPE
DELSALLE	Jacques	DG Environnement - Commission Européenne
DEMONET	Solène	France Nature Environnement
DENECHAU	Philippe	DNC ENVIRONNEMENT
DEROLETZ	Chantal	Agence de santé
DESROUSSEAU	Maylis	Institut de droit de l'environnement
DICTOR	Marie-Christine	BRGM
DOMANGE	Muriel	DREAL
DOS SANTOS JORGE	Hugo	Cnam
DU PLESSIS	Anne	sans
DUFFROY	Florian	ODBU - CG 93
DUPENDANT	Amélie	SNHF
EGLIN	Thomas	Ademe
EL MOURIDI	Zineb	INRA Maroc
ESCADAFAL	Richard	IRD
EVEILLARD	Philippe	UNIFA Union des Industries de la Fertilisation
FABURE	Juliette	AgroParisTech / Irstea
FARAOUN	Fatiha	université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes (Algérie)
FEIX	Isabelle	ADEME
FELIX	Irène	ARVALIS
FELLER	Christian	IRD
FLANAGAN	Kelsey	ENPC (LEESU)
FOLLIN	Jean-Michel	laboratoire GeF / ESGT / CNAM
FORT	Jean-Luc	CRA Poitou-Charentes
FOTI	Ludovic	natureparif
FOUCHE	Olivier	Enpc et Cnam
FOULON	Claude	Agri Agro Environnement - Transfert de technologies
FOURNIER	Marie	ESGT - CNAM
FRANKE	Christine	Mines ParisTech, Centre des Géosciences
FRÖCHEN	Marie	Anses
FROGET	François	DRAAF de Basse Normandie
GAETAN	Fourvel	Agrocampus Ouest - Unité EPHor
GALIBOURG	David	Decagon Devices Europe
GALLOUËT	Emilie	Ministère de l'écologie
GASCUEL	Chantal	Inra
GAUBERT	Hélène	MEDDE/CGDD/SEEIDD
GEORGEL	Pierre	ECOVEGETAL
GESTKOFF	Nathalie	CNAM
GEYER	Bernard	CNRS
GIANFERMI	Patricia	Mairie de Paris
GOBRECHT	Alexia	Irstea
GOLDBERG	Viviane	Bergerie nationale - Rambouillet
GREINER	Lucie	Agroscope





GRYTTEN	Isabelle	DDT 28
GUILLIER	Camille	ADEME
GUERGUADJ	Nadia	CNRS
GUETCHEVA	Nikoleta	Université de Lausanne
GUILAIN	Pierre-Edouard	Fondation pour la recherche sur la Biodiversité - FRB
HARTMANN	Thierry	Antea Group
HATTE	Christine	CEA
HEBERT-PIQUARD	Anne	Présidente de la communauté de communes de Sèves-Taute
HELIOT	Raphaelae	consultante architectures et villes durables
HENRYON	David	De Bree Environnement
HOFSTETTER	Annie	INRA
HOUET	Thomas	CNRS - GEODE UMR 5602
HUCLIN	Adeline	ADREE
HUGUENARD	Laure	Plaine d'Avenir 78
HUGUENOT	David	UPEM
ISSANCHOU	Alice	Groupe ESA
JACQUEL	Maude	ECOVEGETAL
JACQUIN	François-Xavier	Inspection de l'enseignement agricole
JAVELLE	Aurelie	Montpellier SupAgro
JOLY	Amandine	Bureau d'études IETI
JUSSELME	My Dung	Université Paris Est Créteil
KELLER	Catherine	CEREGE - Aix-Marseille Université
LACAZE	Carole	EDF
LAMOUREUX	Ludovic	Eau de Paris
LAMY	Isabelle	INRA
LANDRIEU	Gilles	Parcs nationaux de France
LANGLAIS	Alexandra	CNRS/faculté de droit de Rennes
LAPREVOTE	Sébastien	LAMS
LASANTE	Laetitia	Omnibus
LATA	Jean-Christophe	UMR iEES Paris
LAURENT	François	ARVALIS
LAURIAT	Alexandra	SIAAP
LE CADRE	Pierre-Emmanuel	CNAM
LE FERREC	Ambre	FCBA
LEBOIS	Sylvie	DRIEE
LECLERC	Blaise	ITAB
LEFEBVRE	Laurence	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
LEGRET	Michel	IFSTTAR
LEMAIRE	Emmanuelle	ANR
LEMBAID	Ibtissame	INRA
LEMONNIER	Eric	DRAAF Aquitaine





LESUR-DUMOULIN	Claire	INRA
LEVESQUE	Hervé	Lycée JP Vernant à Sèvres et Ifé-ENS de Lyon équipe ACCES
LEYVAL	Corinne	CNRS
LIFRAN	Robert	INRA
LOBOZZO	Chloé	INRA
LONGUEVAL	Christian	Chambre régionale d'agriculture de Midi-pyrénées
MAILLANT	Sophie	Chambre régionale d'agriculture de Lorraine
MAMATKOULOV	Belek	CNAM
MANIGLIER	Joris	Direction Départementale des territoires de Seine-et-Marne
MARCUS	Jean-Claude	AFES - CPPES - UPB
MARSEILLE	Fabienne	Cerema
MARTIN	Elsa	AgroSup Dijon
MASCHEK	Michael	ESIOE
MAUBLANC	Jean-Victor	Université de Pau
MAUBOUSSIN	Thierry	ARCAGEE
MAUBREY	Regis	GREENWAY International
MAURY	Malise	objectif terre 77
MERROUKI	Kamal	Université Tizi Ouzou (Algerie)
MICHAUD	Aurélia	INRA
MICHEL	Sophie	ARCADIS
MICHEL-COMBE	Dominique	AgroParisTeh-Engref
MICHELIN	Joel	AGROPARISTECH
MILLET	Noëlle	ADEME
MISSONNIER	Julie	Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France
MONTANARELLA	Luca	Commission Européenne
MONTOROI	Jean-Pierre	IRD Institut de Recherche pour le Développement
MORANGE	Lea	GrandAngoulême et Syndicat Mixte de l'Angoumois
MOTA	Matteo	Changins - Haute école de viticulture et oenologie
MOUGIN	Christian	INRA
MOULIN	Joel	Chambre d'Agriculture de l'Indre
MOURIOT	Florent	DEPOLLUTION CONSEIL
MOUSSET	Jérôme	ADEME
MUNCH	Jean Charles	Hemholz Zentrum Muenchen, Allemagne
NABIL	Hana	IEES-Paris/ ENFI-Maroc
NASRI	Behzad	Le Cnam, ESGT
NICOLAY	Jérémy	Le Cnam
NOIROT-COSSON	Paul-Emile	INRA/AgroParisTech
OBRIOT	Fiona	INRA
OMARI	Adila	UPMC - AgroParisTech
OLAZABAL	Claudia	Commission européenne – direction environnement
ODIN	Philippe	SEMACO Environnement





PANINI	Tiziano	Sol&Arbre
PECHAUD	Yoan	Laboratoire Géomatériaux et Environnement Université Paris-Est
PELOSI	Celine	Inra
PERRIN	Jean-Luc	DGPR
PINARD	Christophe	MAAF/DGPAAT/BFB
PIRA	Kasijan	-
PISANO	Alexandro	IRD
PITON	Jacques	DRAAF
PLATEAUX	Alexandre	ENR & DD MAGAZINE
PODESTA	Gwenaël	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
POUZOLET	Bulle	Climat Conseil
POYAT	Yannick	Sol Paysage
PREUD'HOMME	Rose-Line	MNHN
RADICI	Margaux	Université de Strasbourg
RANGER	Jacques	INRA
RAOUS	Sophie	IRD2
RECOUS	Sylvie	INRA
REMY	Elisabeth	INRA
RICHAUME-JOLION	Agnes	Université Lyon 1, UMR CNRS 5557 Ecologie microbienne
RIEDACKER	Arthur	Institut Oikos
RIOU	Virginie	Chambre d'Agriculture du Maine et Loire
RIVIERE-LAMOR	Florence	ENPC
ROBAIN	Henri	IRD UMR iEES-Paris
ROBERT	Samuel	CNRS
SALDUCCI	Xavier	CELESTA-LAB
SAPIJANSKAS	Jurgis	MEDDE
SCHWARTZ	Dominique	Université de Strasbourg
SCHWARTZ	Christophe	LSE Université de Lorraine-INRA
SELLAMI	Fatima	Université Cadi Ayyad Marrakech
SERRE-DARGNAT	Cendrine	PIREN-Seine
SEVEQUE	Jean-Louis	AQUATERRASANA
SKANDER	Ridha	EUROFINS
SORNIN-PETIT	Nicolas	DREAL Champagne-Ardenne
SOUSSI	Chaima	Le CNAM
SOUSSI	Chaima	Le CNAM
STAUNTON	Siobhan	INRA
SUIRE	Patrick	Antea Group
TEDOLDI	Damien	LEESU
THANNBERGER	Laurent	VALGO
THEILE	Dominique	Dominique Theile RFC
TO	Valérie	MEDDE/CGDD





TOURNEBIZE	Julien	Irstea
TRAN	Ophélie	Agence d'urbanisme de Bordeaux
TRANCHANT	Simon	MAAF/SDBE
TRAORE	Grégoire	Université Alassane Ouattara - Côte d'Ivoire
TROJANOWSKA	Monika	doctorante, Université Polytechnique de Gdansk, Pologne
TROUCHET	Florent	LEESU
TUIGNY	Gery	OCEMAG
URSELY	Julien	DDT d'indre et loire
VALLEE	Domitille	Consultant indépendant
VAMPOUILLE	Michel	Terre de liens Ile-de-France
VANLERBERGHE	Guy	Scea clos bernard
VAUDOUR	Emmanuelle	AgroParisTech
VERGNE	Virginie	Univ. Lille 1 & CSENPC
VERGNES	Alan	MNHN/IEES-PARIS
VERNUS	Emmanuel	PROVADEMSE
VIDAL-BEAUDET	Laure	AGROCAMPUS OUEST
VOLTZ	Marc	INRA
WALTER	Christian	Agrocampus Ouest, INRA
WINCENT	Loic	Terre-ecos
WINIARSKI	Thierry	ENTPE LEHNA-IPE UMR CNRS 5023
WOUTS	Elise	MEDDE
XIA	Jun	IPAG
ZAKINE	Carole	Invivo
ZHU	Hong	EPFN

