



Association  
française  
pour l'étude  
du sol



UNIVERSITE  
CHAMBERY  
ANNECY SAVOIE



Société  
suisse  
de pédologie

**30 juin - 4 juillet 2014**

# **12<sup>e</sup> Journées d'Étude des Sols**

## **le sol en héritage**



Université de Savoie, Campus scientifique, 73370 Le Bourget du Lac





## **Avant-propos**

### Le sol en héritage

Les transformations progressives d'une fine pellicule d'écorce terrestre sous l'influence du climat et de la biosphère ont formé les sols, dans leur diversité. Au cours des derniers millénaires, volontairement ou non, l'Homme a modifié leur distribution géographique, leurs propriétés, leur fonctionnement, la biodiversité dont ils sont le siège ou le support, et les services qu'ils lui rendent. Ces évolutions forment un legs fascinant qu'il nous faut déchiffrer, un patrimoine à protéger, une richesse à valoriser et transmettre.

Bienvenue aux Journées d'Etude des Sols 2014, au Bourget du Lac !

## **Le mot du Président**

Les sols rendent un grand nombre de services aux hommes et aux écosystèmes : support de la croissance des végétaux, recyclage de nos déchets, régulation du climat et du cycle de l'eau, support et habitat d'une immense biodiversité, épuration des eaux, protection de notre patrimoine archéologique. Ils sont au cœur de grands enjeux planétaires comme la sécurité alimentaire mondiale, le changement climatique et la biodiversité. Ces services rendus par les sols sont le fruit d'une longue évolution, pouvant représenter des dizaines ou des centaines de milliers d'années. Nous « héritons » ces services, qui devraient être logiquement considérés comme un patrimoine de l'humanité. Pourtant, les fonctions qui permettent ces services sont directement menacées, voire annihilées, par des menaces multiples qui pèsent sur les sols : imperméabilisation, érosion, désertification, salinisation, contamination, acidification...

La conférence illustrera les services rendus par les sols et leur position centrale dans l'environnement. Elle montrera des exemples de leur état et des conséquences de leur dégradation à des échelles allant de la région à celle du globe.

### **Dominique Arrouays**

*Président de l'Association Française pour l'Etude des Sols. Membre du Groupe Intergouvernemental pour les Sols de la FAO.*

## **Comité d'organisation**

Pierre FAIVRE (Carrtel, UdS)

Jérôme POULENARD (Edytem, UdS)

Etienne DAMBRINE (Carrtel, UdS)

David ETIENNE (Carrtel, UdS)

Emilie CHALMIN (Edytem-LCME, UdS)

Bernard DAVID (LCME UdS)

Bernard FANGET (Edytem, UdS)

Jean Marcel DORIOZ(Carrtel, Inra)

Dominique TREVISAN (Carrtel, Inra)

Romain ANGER (Craterre)

## Comité scientifique

Antonio BISPO	(antonio.bispo@ademe.fr)
Bas VAN WESAMAEL	(bas.vanwesemael@uclouvain.be)
Bernard JABIOL	(Bernard.jabiol@agroparistech.fr)
Catherine KELLER	(keller@cerege.fr)
Cedric LEGOUT	(cedric.legout@hmg.inpg.fr)
Christian VALENTIN	(christian.valentin@ird.fr)
Christian WALTER	(Christian.Walter@agrocampus-ouest.fr)
Claire CHENU	(Claire.Chenu@grignon.inra.fr)
Dominique ARROUAYS	(Dominique.Arrouays@orleans.inra.fr)
Dominique SCHWARTZ	(schwartz@geographie.u-strasbg.fr)
Emilie CHALMIN	(emilie.chalmin@univ-savoie.fr)
Emmanuel FROSSARD	(emmanuel.frossard@ipw.agrl.ethz.ch)
Emmanuel NAFFRECHOUX	(emmanuel.naffrechoux@univ-savoie.fr)
Enrique BARRIUSO	(barriuso@grignon.inra.fr)
Eric LUCOT	(Eric.Lucot@univ-fcomte.fr)
Fabien ARNAUD	(fabien.arnaud@univ-savoie.fr)
Fabienne FAVRE BOYVIN	(fabienne.favre@hefr.ch)
Freddy REY	(freddy.rey@irstea.fr)
Guenola PERES	(guenola.peres@univ-rennes1.fr)
Herve SAINT-MACARY	(herve.saint_macary@cirad.fr)
Isabelle COUSIN	(isabelle.cousin@orleans.inra.fr)
Isabelle LAMY	(Isabelle.Lamy@versailles.inra.fr)
Jacques RANGER	(ranger@nancy.inra.fr)
Jean Louis MOREL	(Jean-Louis.Morel@ensaia.inpl-nancy.fr)
Jean Paul PARTY	(jpparty@wanadoo.fr)
Jean-Michel GOBAT	(Jean-Michel.Gobat@unine.ch)
Jean-Michel HARMAND	(jean-michel.harmand@cirad.fr)
Julia WATTEZ	(julia.wattez@inrap.fr)
Laurent AUGUSTO	(laurent.augusto@bordeaux.inra.fr)
Laurent CANER	(laurent.caner@univ-poitiers.fr)
Luc THIEBAULT	(thiebaut@enesad.inra.fr)
Lucile JOCTEUR MONROZIER	(lucile.jocteurmonrozier@orange.fr)
Manuel NICOLAS	(manuel.nicolas@onf.fr)
Marc BUEE	(marc.Buee@nancy.inra.fr)
Martial BERNOUX	(martial.bernoux@ird.fr)
Michel BROSSARD	(michel.brossard@ird.fr)
Patrice BUESO	(patrice.bueso@developpement-durable.gouv.fr)
Philippe EVEILLARD	(peveillard@unifa.fr)
Philippe HINSINGER	(Philippe.Hinsinger@supagro.inra.fr)
Pierre Alain MARON	(pierre-alain.maron@dijon.inra.fr)
Priscia OLIVA	(priscia.oliva@get.obs-mip.fr)
Rafael GROS	(raphael.gros@univ-cezanne.fr)
Sabine HOUOT	(Sabine.houot@grignon.inra.fr)
Samuel ABIVEN	(Samuel.Abiven@geo.uzh.ch)
Sandrine LEMENAGER	(sandrine.lemenager@agriculture.gouv.fr)
Sebastien BAROT	(sebastien.barot@ird.fr)
Sophie CORNU	(Sophie.Cornu@aix.inra.fr)
Sylvie RECOUS	(Sylvie.Recous@reims.inra.fr)
Yves LE BISSONNAIS	(lebisson@supagro.inra.fr)
Yves PERRETTE	(yves.perette@univ-savoie.fr)
Martial BERNOUD	(martial.bernoux@ird.fr)

## **Liste des sessions scientifiques**

Session 1. Pédogénèse, cartographie, télédétection, méthodes géophysiques

Session 2. Sols de montagne

Session 3. De l'acquisition de données sur les sols à leur diffusion et à leur utilisation pour l'aide à la décision

Session 4. Porosité, lessivage, transferts dans les sols

Session 5. Bassin versant, Erosion, transferts

Session 6. Diversité faunistique et indicateurs biologiques de qualité des sols

Session 7. Microbiologie des sols

Session 8. Pratiques agronomiques et fertilité des sols

Session 9. Génie écologique

Session 10. Matière organique des sols-compostage

Session 11. Cycles biogéochimiques et gestion forestière

Session 12. Sols et sédiments, archives, archéologie

Session 13. Suitma's

Session 14. Contaminants organiques et minéraux, transferts

Session 15. Sols et changements globaux

Session 16. Construction en terre et autres usages non agronomique des sols

## **Intitulé des tables rondes**

Table ronde 1. L'Enseignement et les métiers de la science du sol

Table ronde 2. Le sol en héritage

## **Intitulé conférences plénières**

Enjeux et Menaces autour des sols (Dominique Arrouays)

Du sol dans l'art au SoilArt (Christian Feller)



## Sortie terrain du 30 juin

***Excursion pédologique : Etagement altitudinal des sols (Les Arcs, Tarentaise), incidence de l'occupation humaine ancienne et actuelle (Col du Petit St Bernard).***

Contact : Pierre.Faivre@univ-savoie.fr

Matinée ; dans le périmètre de la station de ski des Arcs, secteur des Deux Têtes (1800-2200 m), ce qui permettra de voir des sols des étages Alpains et Subalpains et les formations végétales associées.

Nous verrons également une piste de ski récemment tracée et réhabilitée (reconstitution d'un sol et d'un tapis végétal herbacé). Un professionnel nous expliquera les différentes phases de travail jusqu'au reverdissement dans le but de comprendre l'intérêt et la nécessité de chacune d'elles.

Après-midi, après un déjeuner sur l'herbe, nous poursuivrons par une étude des sols situés autour d'habitats préhistoriques au col du petit Saint Bernard (2188 m) en collaboration avec des collègues archéologues : Occupation humaine, paléoenvironnements, enregistrement dans les sols et sédiments lacustres (Lac Verney - J Rey/J Poulenard).

Départ vers 8h - 8h30 (à préciser) – Retour entre 18-19h.

Le matin nous utiliserons les remontées mécaniques de la station des Arcs et devrons marcher une quarantaine de minutes au total entre les différents sites.

## Sortie terrain du 4 juillet

***Excursion pédologique organisée par la Société suisse de pédologie : Région de Lavaux – Canton de Vaud (Suisse)***

Contact : Pierre.Faivre@univ-savoie.fr

Nous finalisons la mise au point de cette tournée avec nos collègues de la Société suisse de pédologie (responsable Stéphane BURGOS).

Cette tournée se déroulera sur le site viticole du Lavaux entre Genève et Lausanne, donc sur des pentes dominant le Lac Léman face aux Alpes françaises.

Ce site classé par l'UNESCO, considéré comme l'un des plus beaux du monde, a été sauvé de l'appétit des promoteurs immobiliers dans les années 70 grâce à l'action déterminée des viticulteurs soutenus par des intellectuels suisses (journalistes, universitaires, architectes...).

Nous verrons naturellement des sols viticoles (le sol de vigne a été désigné "Sol de l'année 2014" par la société suisse de pédologie) et surtout dans cette région de fortes pentes, les pratiques agricoles adaptées à ce contexte particulier, notamment celles destinées à lutter contre l'érosion. Sans doute visite et présentation d'une cave !...

Nous partirons vers 7h30 pour commencer le terrain entre 9h et 9h30 et terminer vers 16h-16h30 afin d'être de retour en Savoie vers 17h30-18h.

## MARDI 1 JUILLET - Présentations orales

Ouverture des 12<sup>es</sup> JES – Amphithéâtre Vanoise

8h30 Accueil et Inscriptions  
9h30 Présidence UdS, AFES, Flame, Région Mots de Bienvenue  
10h00 Intro Van Wesemael Bas « Les enjeux de la science du sol »  
Pause

Amphithéâtre Revard

Amphithéâtre Vanoise

Amphithéâtre Nivolet

S 1 et 2 : Pédogenèse-Cartographie – Sols de Montagne

S 14 : Contaminants organiques et minéraux, transferts

S 5 : Bassin versant, Erosion, transferts

11h30 Bourrié Guilhem  
11h50 Baize Denis  
12h10 Party Jean-Paul  
12h30 Caner Laurent

Quantin Cécile  
Keller Catherine  
Beaumelle Léa  
David Bernard

Le Bissonnais Yves  
Degan Francesca  
Grangeon/Legout T. et C.  
Al Majou Hassan

Repas

S 1 et 2 : Pédogenèse-Cartographie – Sols de Montagne

S 14 : Contaminants organiques et minéraux, transferts

S 5 : Bassin versant, Erosion, transferts

14h10 Rosolen Vania  
14h30 Coulouma Guillaume  
14h50 Lucot Eric  
15h10 Bourennane Hocine  
15h30 Généré Valentin  
15h50 Le Bas Christine

Fernandez Bayo Jesus  
Coquet Yves  
Samouelian Anatja  
Soubrand Marilyne  
Morel Marie-Christine  
Spadini Lorenzo

Dorioz J.M.  
Nemery Julien  
Archundia Denisse  
Morvan Xavier  
Sabatier Pierre  
Raclot Damien

16h10 Pause et Présentation Affiches (Détail page suivante)

17h45 Table ronde : Enseignement de la science du sol et métiers...

18h45

Assemblée générale de l'AFES

Apéritif dînatoire et musical

**MARDI 1 JUILLET – Présentations AFFICHES 5 minutes**

---

	Amphithéâtre Revard	Amphithéâtre Vanoise	Amphithéâtre Nivolet
	S 1 et 2 : Pédogenèse-Cartographie – Sols de Montagne	S 14 : Contaminants organiques et minéraux, transferts	S 5 : Bassin versant, Erosion, transferts
16h30	Ameur Amina Berkal Ismaïel Deeb Maha	Bérard Annette Boulonne Line Bravin Matthieu	Nord Guillaume Follain Stéphane Wendling valentin
16h50	Idder Abdelhak	David Bernard	Morvan Xavier
16h50	Merrouki Kamal Randevozon Finaritra Saby Nicolas	Fernandez-Bayo Jesus Koriko Moursalou Negro Sara	Tiecher Tales Bourgeois Florian Fages David
17h10	Saenger Anais	Ponthieu Marie	Legout Cédric
17h10	Benkhelifa Mohammed Lehmann Sébastien Adoum Abdraman Abgassi	Kouchou Aziza Soubrand Marilyne	Salvador-Blanes Sébastien Matthieu Aurelia
17h30	Seger Maud		

---

## MERCREDI 2 JUILLET - Présentations orales

Amphithéâtre Revard		Amphithéâtre Vanoise		Amphithéâtre Nivolet		Amphithéâtre Pôle Montagne	
S 8 et 9 : Pratiques agronomiques Fertilité et génie écologique		S : 6 et 7 : Diversité faunistique et indicateurs biologiques de qualité		S 4 : Porosité, lessivage, transferts dans les sols		S 14 : Contaminants organiques et minéraux, transferts	
9h00	Servain François	Hedde Mickael		Legros Jean Paul		Schneider Arnaud	
9h20	Saby Nicolas	Pérès Guénola		Cornu Sophie		Navel Aline	
9h40	Cardinael Rémi	Bedell Jean-Philippe		Sauzet Ophélie		Goulas Anaïs	
10h00	Duparque Annie	Till Milena		Samouelian Anatja		Hodomihou Richard	
10h20	Ngo Thi-Phuong	Henneron Ludovic		Cousin Isabelle			
Pause							
						S 10 et 15 : Sols, dynamique de la matière organique et changements globaux	
11h10	Felix-Faure Bruno	Pansu Marc		Labille Jérôme		Bispo Antonio	
11h30	Laghour Malika	Lefevre Romain		Van Den Bogaert Romain		Walter Christian	
11h50	Bureau Fabrice	Bourgeois Emilie		Van Den Bogaert Romain		Potard Kevin	
12h10	Creme Alexandra	Lehembre Frédéric		Duwig Céline		Fujisaki Kenji	
12h30	Abdi Dalel	Karimi Battle		Présentations affiches S4		Barré Pierre	
Repas							
14h30	Présentation Affiches (Détail page suivante)					Resende Thalita	
14h50						Chenu- Lutfalla	
Déplacement Amphithéâtre rue Marcoz (Chambéry) S 16 : Construction en terre							
16h30	Guillaud Hubert « Panorama mondial du patrimoine architectural en terre »						
17h15	Le Tiec Jean-Marie « Architectures contemporaines en terre »						
17h45	Anger Romain « Physique des grains et des argiles appliquée à la construction »						
Pause et Introduction conférences Plénières							
18h30	Arrouays Dominique « Enjeux et Menaces autour des sols »						
19h00	Christian Feller « Du sol dans l'art au SoilArt »						

Dîner de Gala

**MERCREDI 2 JUILLET - AFFICHES**

	Amphithéâtre Revard	Amphithéâtre Vanoise	Amphithéâtre Nivolet	Amphithéâtre Pôle Montagne
	S 8 et 9 : Pratiques agronomiques fertilité des sols et génie écologique	S : 6 et 7 : Diversité faunistique et indicateurs biologiques de qualité des sols	S 4 : Porosité, lessivage, transferts dans les sols	S 10 et 15 : Sols, dynamique de la matière organique et changements globaux
12h50				Barré Pierre
13h00				Razafimahatratra Hery Randrianarisoa Jeannicq Bounouara
14h30	Mchergui Chokri Cousin Isabelle Yao Guy Fernand	Pansu Johan Hoeffner Kevin karabi mokhtar	Bajard Manon Sammartino Stéphane	
14h50	Boudiaf Nait Kaci Malika	Chevallier Tiphaine	Nasri Behzad	
14h50	Montoroi J. Pierre Andriamaniraka Harilala Saneho Haritiana	Coulibaly Sékou Fanta De Danieli Sébastien Gabriel Perez		
15h10	Carron Marc-Philippe	Lerch Thomas		
15h10	Mousa-Bourbia Sophia Erktan Amandine Puyberthier Perrine	Stauffer Marie Grundmann G. Horrigue Walid		Chenu Claire Andrianarina Carole Binet Philippe Puissant Jérémy Samaï Ibtissam
15h40				



## JEUDI 3 JUILLET – ORALES

	Amphithéâtre Revard	Amphithéâtre Pôle Montagne	Amphithéâtre Nivolet
	S 13 : Sols urbains - Suitma's	S 12: Sols, sédiments et archives pédologiques JES-FROG	S 3 :De l'acquisition de données ... pour l'aide à la décision
9h00	Joimel Sophie		Arrouays Dominique
9h20	Leguédois Sophie	Intro Frog : Disnard Jean Robert	Richer de Forges Anne
9h40	Vergnes Alan	Schwartz Dominique	Laroche Bertrand
10h00	Watteau française	Lavrieux Marlène	Legrain Xavier
10h20	Pascaud G (oral)	Bajard Manon	Gagné Gilles
10h40	Pascaud G. (Affiche)	Quiers Marine	
11h00	Pause		
	S 11 : Cycles Biogéochimiques et gestion forestière	S 12: JES - FROG	S 3
11h10	Nicolas Manuel	Feiss Thomas	Jolivet Claudy
11h30	Tchichelle Sogni V.	Lefevre Romain	Desrousseaux Maylis
11h50	Fontana Mario	Naisse Christophe	Guellier Camille
12h10	Boulou-Bi Emile	Courel Blandine	Laroche Bertrand
12h30	Legout Arnaud		
		Froehlicher Lucie	Keller Catherine
13h00	Repas		
	S 10 :Sols et matières organiques JES-FROG	S 12: JES - FROG	S 3
14h10	Mahamat-ahmat Adoum	Davtian Nina	Fouché Olivier
14h30	Fujisaki Kenji	Abdelli Ghizlane	Pereira Benoît
14h50	Clairotte Michaël	Younes Khaled	Fourvel Gaëtan
15h10	Vidal Alix	Vinçon-Laugier Arnaud	Toutain Benoît
15h30	Courty Marie-Agnès		
15h40			
	Pause et Affiches (page suivante)		
16h30	Table ronde Amphi Revard « Le sol en héritage »		

## JEUDI 3 JUILLET – AFFICHES

---

	Amphithéâtre Revard	Amphithéâtre Nivolet	Amphithéâtre Pôle Montagne
	S 11 : Cycles biogéochimiques et gestion forestière		
12h50	Girardin Cyril Pousse Noémie Stauffer Marie		
<hr/>			
	Repas		
	<hr/>		
		S 3 : De l'acquisition des données ... aide à la décision	S 12 : Sols, sédiments et archives pédologiques - JES-FROG
15h30		Girot Ghislain Paroissien Jean-Baptiste Richer de Forges Anne Swidersky Chloé Laroche Moreira	Feiss Thomas Froehlicher Lucie Hamdi-Aïssa Baelhadj Lattaud Julie
16h00		Fourrier Hervé	

## Table des matières

### **SESSION 1 et 2: Pédogenèse-Cartographie – Sols de Montagne**

---

Modérateurs : JP Party, E. Dambrine, D. Arrouays

#### *COMMUNICATIONS ORALES*

Sols, formations superficielles et régolithe <b>Bourrié Guilhem</b>	<b>1</b>
Un facteur méconnu de la pédogenèse sur matériaux calcaires : la granulométrie des fractions non carbonatées <b>Baize Denis</b>	<b>3</b>
La carte des sols à 1/100 000 de Thonon-Chamonix <b>Party Paul</b>	<b>5</b>
Altération de basalte et de rhyo-dacite et formation des minéraux argileux en climat subtropical au sud du Brésil <b>Caner Laurent</b>	<b>7</b>
Les champs hydromorphiques avec murundus dans le Cerrado et leurs relations avec la formation des argiles alumineuses et le stockage de carbone. <b>Rosoien Vania</b>	<b>8</b>
Intérêt des rayonnements gamma naturels pour cartographier l'argile dans différentes ambiances géopédologiques <b>Coulouma Guillaume</b>	<b>10</b>
La présence d'une nappe d'eau dans des sols hydromorphes forestiers : à quelle profondeur, quand et combien de temps ? Les apports d'un suivi piézométrique pluriannuel <b>Lucot Eric</b>	<b>12</b>
Approche géostatistique pour l'identification des échelles spécifiques de dépendance spatiale <b>Bourennane Hocine</b>	<b>14</b>
Approche robuste pour déterminer le nombre de sondages nécessaire à l'estimation de la valeur moyenne de la RU à l'échelle parcellaire <b>Généreé Valentin</b>	<b>16</b>
Etude méthodologique de l'impact des incertitudes liées à l'estimation spatialisée des paramètres sols du modèle Stics à partir de la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000 <b>Le Bas Christine</b>	<b>18</b>

*AFFICHES*

Modélisation en 3D de la structure d'un sol : Analyse de sensibilité et évaluation de l'approche APSF <b>Ameur Amina</b>	<b>20</b>
Création d'une base de données spatiale sur les sols du Sahara d'Algérie. Évaluation de divers scénarios en vu d'aide à la prise de décision. <b>Berkal Ismaiel</b>	<b>22</b>
Influence des vers de terre, des plantes et de la proportion de matière organique sur les propriétés physiques d'un technosol <b>Deeb Maha</b>	<b>23</b>
Etude de la répartition de la matière organique dans les sols forestiers <b>Merrouki Kamal</b>	<b>25</b>
Exploration de la voie oxalate-carbonate à Madagascar: Applications et Perspectives <b>Randevoson Finaritra</b>	<b>26</b>
Comparaison de 3 méthodes d'estimation de la variance d'échantillonnage des moyennes spatiales calculées à partir d'observations issues d'une grille systématique : Application aux données du réseau de mesures de la qualité des sols français <b>Saby Nicolas</b>	<b>28</b>
Suivi des pools cinétiques de carbone des sols de montagne: une approche par pyrolyse Rock-Eval et fractionnement granulodensimétrique de la matière organique du sol <b>Saenger Anais</b>	<b>30</b>
Salinisation et sodisation des sols dans la plaine irriguée de la Mina (nord-ouest d'Algérie). Diagnostic par mesures conjointes des conductivités électromagnétique et hydraulique saturée <b>Benkhelifa Mohammed</b>	<b>32</b>
Prédiction des zones humides potentielles par combinaison de l'indice topo-climatique et de la dénivelée au cours d'eau à l'échelle du territoire français. <b>Berthier-Lehmann</b>	<b>34</b>
Organisation des sols des polders de Bol (Nord-Est du lac Tchad) au sein du paysage interdunaire <b>Adoum Abdraman Abgassi</b>	<b>36</b>
Traitement de l'information géoélectrique pour cartographier l'épaisseur du sol à l'échelle intra parcellaire <b>Seger Maud</b>	<b>37</b>

### **SESSION 3: De l'acquisition de données sur les sols à leur diffusion et à leur utilisation pour l'aide à la décision**

---

Modérateurs : A. Richer de Forges, B. Laroche

#### *COMMUNICATIONS ORALES*

Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde : Le programme GlobalSoilMap <b>Arrouays Dominique</b>	<b>39</b>
Etat d'avancement du programme de cartographie des sols à moyennes échelles : Connaissance Pédologique de la France (CPF) <b>Richer de Forges</b>	<b>41</b>
La connaissance des sols sur le territoire français : la BDGSF et le programme IGCS <b>Laroche Bertrand</b>	<b>43</b>
La Carte des Sols de la Belgique : un héritage à se réapproprier <b>Legrain Xavier</b>	<b>45</b>
Les inventaires de sols en milieu agricole du Québec : historique, accessibilité et perspectives <b>Gagné Gilles</b>	<b>46</b>
Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols : bilan de la campagne 1 (2000-2009) et perspectives pour la campagne 2 (2015-2026) <b>Jolivet Claudy</b>	<b>48</b>
L'orientation du droit vers une définition fonctionnelle de la qualité des sols <b>Desrousseaux Maylis</b>	<b>50</b>
La diversité de perceptions de sols par les gestionnaires <b>Guellier Camille</b>	<b>52</b>
Exemples d'utilisation de bases de données sur les sols au service des politiques publiques <b>Laroche Bertrand</b>	<b>53</b>
Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine – application du bassin minier de Provence <b>Keller Catherine</b>	<b>55</b>
Aptitude d'un territoire à l'assainissement non collectif (ANC) : indicateurs SPU (sol – parcelle – usager) <b>Fouché Olivier</b>	<b>57</b>
Comment s'assurer de la qualité d'une base de données géochimique collectée dans le cadre de l'application d'une réglementation concernant la protection des sols ? <b>Pereira Benoît</b>	<b>59</b>
Vers une méthodologie d'harmonisation des Référentiels Régionaux Pédologiques par cartographie numérique : l'exemple de l'Eure-et-Loir et du Loiret <b>Fourvel Gaëtan</b>	<b>60</b>



Le Système d'Information Décisionnel Sol : une architecture informatique décisionnelle au service de la diffusion des données du GISSOL <b>Toutain Benoît</b>	<b>62</b>
<i>AFFICHES</i>	
Applicasol, un outil de partage des applications thématiques à partir des données sol <b>Girot Ghislain</b>	<b>65</b>
Les webservices cartographiques : un outils de diffusion des données du GISSOL <b>Paroissien Jean-Baptiste</b>	<b>67</b>
La formation "Utilisation de la base de données DoneSol" <b>Richer de Forges</b>	<b>69</b>
Analyse de la diversité pédologique et des micro-organismes telluriques à l'échelle du paysage de l'OPE : approche par cartographie numérique de l'horizon de surface des sols. <b>Swidersky Chloé</b>	<b>71</b>
Pérennité des compétences pédologiques susceptibles d'être mobilisées en région pour la constitution et l'exploitation des bases de données sur les sols <b>Moreira-Laroche</b>	<b>73</b>
Référentiel Régional Pédologique de la région Nord"-Pas der Calais <b>Fourrier Hervé</b>	<b>75</b>

---

#### **SESSION 4: Porosité lessivage, transferts dans les sols**

---

Modérateurs : JP Legros, D Baize

##### *COMMUNICATIONS ORALES*

Le lessivage: un concept à dépeussierer à grande eau <b>Legros Jean Paul</b>	<b>77</b>
Quantification des transferts verticaux de matière dans des anthopo-séquences de Luvisols <b>Cornu Sophie</b>	<b>79</b>
Quantifier l'effet de 250 ans de mise en culture sur l'intensité du processus d'éluviation/illuviation par approche micromorphologique couplée à de l'analyse d'images <b>Sauzet Ophélie</b>	<b>81</b>
Modélisation des transferts verticaux de matière dans des anthopo-séquences de Luvisols <b>Samouelian Anatja</b>	<b>83</b>
Approche expérimentale du lessivage : quantification et mécanismes <b>Cousin Isabelle</b>	<b>85</b>

Rôle des conditions physicochimiques dans les processus de lessivage de particules argileuses au sein du réseau poral du sol <b>Labille Jérôme</b>	<b>87</b>
La teneur en eau à proximité des macropores influence t-elle la rétention des particules colloïdales dans les sols structurés ? <b>Van den Bogaert Romain</b>	<b>89</b>
Reconnaissance spatiale et dynamique des écoulements préférentiels et de l'interface eau-macropores dans les sols structurés <b>Van den Bogaert Romain</b>	<b>91</b>
Flux hétérogène de l'eau dans un milieu à double porosité visualisé par Tomographie à rayon X <b>Duwig Céline</b>	<b>93</b>
<i>AFFICHES</i>	
Quantification de l'intensité de l'activité biologique par analyse d'images de lames minces de sol : mise au point méthodologique et quantification de l'impact de 250 ans de mise en culture <b>Bajard Manon</b>	<b>95</b>
Evolution de la structure de Luvisols soumis à une alternance de pluies et séchages contrôlés – Morphologie, connectivité et éluviation à l'échelle de la colonne <b>Sammartino Stéphane</b>	<b>97</b>
Evaluation des fonctions de pédotransfert d'un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée, sur un site pilote dédié <b>Nasri Behzad</b>	<b>99</b>

---

## **SESSION 5: Bassin versant, Erosion, transferts**

---

Modérateurs : C. Legout, JM. Dorioz, Y. Le Bissonnais

### *COMMUNICATIONS ORALES*

Analyse comparative des événements érosifs majeurs dans un réseau de petits bassins méditerranéens <b>Le Bissonnais Yves</b>	<b>101</b>
Cartographie de l'aléa érosif à l'échelle régionale : exemple sur le bassin de la Loire-Bretagne <b>Degan Francesca</b>	<b>103</b>
Vers une meilleure prise en compte des caractéristiques physiques des particules dans les modèles d'érosion <b>Grangeon Thomas</b>	<b>105</b>

La validité des Fonctions de Pédotranfert développées à partir des sols français : Application à des sols du bassin méditerranéen (Cas des sols de Syrie) <b>Al Majou Hassan</b>	<b>107</b>
Connexions biogéochimiques entre écosystèmes terrestres et écosystèmes aquatiques : quelques réflexions pour une approche plus intégrée entre sols et eaux <b>Dorioz Jean-Marcel</b>	<b>109</b>
Prédiction et quantification des sources diffuses de nutriments particulières : application des méthodes de fingerprinting <b>Nemery Julien</b>	<b>110</b>
Etude de la contamination aux antibiotiques dans le Bassin du Katari et évaluation des impacts dans le contexte de l'Altiplano Bolivien <b>Archundia</b>	<b>112</b>
Influence de la structure du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion dans les vignobles champenois <b>Morvan Xavier</b>	<b>114</b>
Effet long-terme de l'utilisation des pesticides sur l'érosion d'un bassin versant viticole et la remobilisation de polluants <b>Sabatier Pierre</b>	<b>116</b>
Ruissellement et érosion dans un petit bassin marneux agricole de Tunisie <b>Raclot Damien</b>	<b>117</b>
<i>AFFICHES</i>	
Etude comparative des relations entre débit de pointe (Qmax) et export de matière en suspension (SSY) dans 8 petits bassins versants de France, Mexique et Espagne <b>Nord Guillaume</b>	<b>119</b>
Simulations à moyen terme des redistributions des sols à l'échelle d'un paysage viticole méditerranéen. <b>Follain Stéphane</b>	<b>121</b>
Système de Caractérisation des Agrégats et des Floccs (SCAF) <b>Wendling Valentin</b>	<b>123</b>
Influence d'un taillis à courte rotation de Robinia pseudoacacia sur les propriétés physiques des sols <b>Morvan Xavier</b>	<b>125</b>
Phosphorus forms in suspended sediments as indicators of anthropic pressures and sediment origin in a agricultural catchment in southern Brazil <b>Tiecher Tales</b>	<b>127</b>
Caractérisation de l'érosion sous teck à l'aide de mesures de <sup>137</sup> Cs et de concentrations en carbone organique dans les sols. Application à un petit bassin versant au Laos. <b>Bourgeois Florian</b>	<b>128</b>

Augmenter la précision spatiale et temporelle du suivi agronomique sur un bassin versant viticole méditerranéen <b>Fages David</b>	<b>130</b>
Analyse des processus d'érosion gouvernant le transfert des particules sur versant <b>Legout-Grangeon Cédric</b>	<b>132</b>
Transferts particulaire et connectivité des versants aux masses d'eau dans le bassin de la Loire <b>Salvador-Blanes Sébastien</b>	<b>134</b>
Suivi et quantification des transferts de matière dans un bassin versant agricole drainé <b>Matthieu Aurelia</b>	<b>136</b>

### **SESSION 6 et 7: Diversité faunistique, microbiologie et indicateurs biologiques de qualité des sols**

---

Modérateurs : F. Bureau, L. Cecillon, B. Jabiol

#### *COMMUNICATIONS ORALES*

Comment calculer les services écosystémiques rendus par les sols : un essai sur la base des données du programme « Bioindicateurs de qualité des sols » de l'ADEME <b>Hedde Mickael</b>	<b>138</b>
Quels bioindicateurs et biomarqueurs utiliser pour la surveillance de la qualité des sols et l'évaluation des risques environnementaux? <b>Peres Guénola</b>	<b>140</b>
Les vers de terre : indicateurs et acteurs d'évolution des anthroposols et des pollutions associées au sein des Bassins d'Infiltration?? <b>Bedell Jean-Philippe</b>	<b>143</b>
Impacts des pratiques culturales sur l'écosystème du sol dans les plantations d'hévéa du Nord-est de la Thaïlande <b>Till Milena</b>	<b>145</b>
Réponse des assemblages de collemboles à la manipulation expérimentale de la densité des arbres le long d'un gradient d'âge de peuplements de chêne sessile <b>Henneron Ludovic</b>	<b>147</b>
Modélisation du fonctionnement microbien au centre des échanges de carbone et d'azote entre les plantes, le sol et l'atmosphère <b>Pansu Marc</b>	<b>149</b>
La sensibilité des communautés microbiennes à une augmentation de la température augmente quand la biodégradabilité de la ressource organique baisse. <b>Lefèvre Romain</b>	<b>151</b>
Réhabilitation du patrimoine microbiologique de sols pollués par l'implantation de <i>Miscanthus x giganteus</i> <b>Bourgeois Emilie</b>	<b>153</b>

Évaluation de l'impact des métaux lourds dans les sols à micro-échelle par une approche de séquençage haut-débit (NGS) <b>Lehembre Frédéric</b>	<b>155</b>
Réponses des communautés bactériennes des tourbières à Sphaignes à un réchauffement climatique à moyen terme <b>Karimi Battle</b>	<b>157</b>
<i>AFFICHES</i>	
Etude de la structuration des communautés lombriciennes à l'échelle du paysage à partir d'ADN environnemental <b>Pansu Johan</b>	
L'OPVT, un projet de science participative national sur les vers de terre <b>Hoeffner Kevin</b>	<b>159</b>
Effet des variations saisonnières sur la microflore tellurique des sols oasiens de la cuvette de Ouargla (Sahara algérien) <b>Karabi Mokhtar</b>	<b>160</b>
L'atlas de la Biodiversité des sols et un jeu de 7 familles de la vie cachée des sols <b>Chevalier Tiphaine</b>	<b>162</b>
Effets de différentes pratiques agricoles sur les assemblages de Collemboles <b>Coulibaly Sékou Mady</b>	<b>164</b>
Expertise comparative de la mésofaune du site de la grotte de Lascaux. <b>De Danieli Sébastien</b>	<b>166</b>
Diversité et structure des communautés de collembole en peuplement forestier pur et mélangé <b>Perez Gabriel</b>	<b>168</b>
Influence du tassement sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes d'un sol forestier <b>Lerch Thomas</b>	<b>170</b>
Effet de la qualité de la matière organique du sol sur l'abondance et la structure des communautés microbiennes: importance de la méthode d'extraction de l'ADN <b>Lerch Thomas</b>	<b>172</b>
Evolution temporelle de la qualité du sol sous des taillis à très courte rotation de saules, comparée aux sols sous forêt alluviale, bandes enherbées et culture annuelle. <b>Stauffer Marie</b>	<b>174</b>
Distribution spatiale à micro échelle des enzymes extracellulaires et de la diversité microbienne dans le sol <b>Grundmann-Kim Geneviève</b>	<b>176</b>
Modèles prédictifs de la biomasse microbienne <b>Horrigue Walid</b>	<b>178</b>

## **SESSION 8 et 9: Pratiques agronomiques, fertilité des sols et génie écologique**

---

Modérateurs : B. Felix Faure, F. Rey, I. Cousin

### *COMMUNICATIONS ORALES*

- Evolution des teneurs en éléments fertilisants des sols agricoles : les limites des enquêtes et des statistiques réalisées à partir des bases de données.  
**Servain François** 179
- Surveillance de la fertilité chimique des sols agricoles avec la BDAT  
**Saby Nicolas** 182
- Impact de l'agroforesterie sur le stock de carbone organique du sol sous climat méditerranéen  
**Cardinael Rémi** 184
- AMG, un modèle simple de calcul de bilan humique : applications pour l'aide à la décision et récents développements  
**Duparque Annie** 186
- Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organiques et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam  
**Ngo Thi-Phuong** 188
- Prendre en compte tous les indicateurs de l'acidité des sols pour l'interprétation et le conseil en matière de chaulage.  
**Felix-Faure Bruno** 189
- Impact du semis direct sur les propriétés physiques du sol au Maroc central  
**Laghrou Malika** 191
- Restauration écologique par reconstitution pédologique : cas de la réserve naturelle des Coussouls de Crau impactée par une fuite d'hydrocarbures.  
**Bureau Fabrice** 192
- Nature biochimique de la matière organique du sol de prairie sous deux sources d'azote : engrais azoté synthétique sur monoculture de graminées et association luzerne-graminées  
**Creme Alexandra** 194
- Effet à long terme du travail du sol et de la fertilisation phosphatée sur les formes du phosphore déterminées par spectroscopie RMN-31P  
**Abdi Dalel** 196

*AFFICHES*

- Restauration du compartiment sol des écosystèmes rivulaires de l'estuaire de Seine : expérimentations visant à simuler un régime de perturbation et de contraintes liés aux crues.  
**Mchergui Chokri** 198
- Le système de cultures modifie le Réservoir Utilisable d'horizons profonds de sols en une décennie  
**Cousin Isabelle** 200
- Réponses d'une variété de riz interspécifique (*Oryza sativa* x *Oryza glaberrima*) aux applications de phosphate et de magnésium sur Ferralsol acide de la zone forestière humide en Côte d'Ivoire  
**Yao Guy Fernand** 202
- Variation du phosphore biodisponible à l'interface sol-racine de *Olea europaea* L. après application localisée d'engrais phosphatés  
**Boudiaf Nait Kaci Malika** 203
- Biomasse racinaire et nappe profonde d'interfluve. Cas d'un bassin versant du Nord-Est thaïlandais  
**Montoroi Jean-Pierre** 205
- Comparaison d'effets des différents d'engrais biologiques phosphates sur une culture légumière pratiquée sur un sol ferralitique  
**Andriamaniraka Harilala** 207
- Stock de C et disponibilité des nutriments sous l'effet de changement de mode d'usage des terres à Madagascar  
**Saneho-Razafimahatratra Haritiana Gabriel** 209
- Qualité des sols sous palmier à huile mature : Caractérisation de l'hétérogénéité spatiale autour du palmier.  
**Carron Marc-Philippe** 211
- Accroissement de la biodisponibilité en potassium à l'interface sol-racine d'oliviers amendés avec des effluents d'huileries d'olives  
**Mouas-Bourbia Sophia** 213
- Boucles de rétroaction entre composition fonctionnelle de communautés végétales et fertilité des sols de lits de ravines en cours de restauration écologique  
**Erktan Amandine** 215
- Etude agro-écologique sur des prairies permanentes dans le Parc naturel régional de la Brenne (36). A l'interface de l'agronomie, la pédologie & la phytosociologie  
**Puyberthier Perrine** 217

## SESSION 10 et 15: Sols, dynamique de la matière organique et changements globaux

---

Modérateurs : C. Chenu, C. Walter

### COMMUNICATIONS ORALES

- Sols et changement climatique : quels travaux et quelles attentes au sein du programme ADEME REACTIF ?  
**Bispo Antonio** 219
- Peut-on protéger les sols en raisonnant l'organisation des paysages ?  
**Walter Christian** 221
- Sensibilité du C profond des sols aux changements climatiques : Minéralisation des matières organiques du sol à différentes teneur en eau en profondeur dans un PODZOSOL amazonien  
**Potard Kévis** 223
- Carbone organique du sol et changement d'usage des terres en Amazonie : état actuel des connaissances et des incertitudes  
**Fujisaki Kenji** 225
- Contrôle pédologique des stocks de carbone organique des sols sous forêts et cultures  
**Barré Pierre** 227
- La minéralogie des argiles influence-t-elle la dynamique du C dans les sols ?  
**Barré Pierre** 229
- Stock de C et disponibilité des nutriments sous l'effet de changement de mode d'usage des terres à Madagascar  
**Razafimahatratra Héry** 231
- Dynamique du carbone du sol après la déforestation des forêts naturelles sempervirentes du Centre Est de Madagascar  
**Randrianarisoa Jeannicq** 233
- La matière organique des sols d'une toposéquence sous climat subhumide. Cas de la vallée de Zeramna, région de Skikda, Algérie  
**Bounouara Zouhra** 235
- Impact de la mise en culture et en pâturage de la végétation du Cerrado sur les stocks de carbone du sol  
**Rescende Thalita** 236
- Les charbons sont ils une fraction récalcitrante des matières organiques des sols? Mise en évidence d'une décroissance rapide du stock de charbons dans le sol d'un essai de longue durée  
**Lutfalla-Chenu Claire** 238



## AFFICHES

Le potentiel des pratiques agricoles pour augmenter le stockage de C dans les sols cultivés : une évaluation pour la France <b>Chenu Claire</b>	239
Situation et évolution des stocks de carbone du sol sous REDD+ à Madagascar <b>Andrianirina Carole</b>	240
Effet allélochimique des composés phénoliques d'une litière de sphaignes sur le fonctionnement d'une tourbière soumise à un forçage climatique expérimental <b>Binet Philippe</b>	242
Effets d'une manipulation climatique sur la dynamique saisonnière de la décomposition microbienne de la matière organique du sol <b>Puissant Jérémy</b>	244
Évaluation et caractérisation de la matière organique des sols du Nord Est Algérie, cas de la plaine d'El-Hadjar (Annaba) <b>Samaï Ibtissam</b>	246
Interactions argilo-humiques en milieux sédimentaires : cas du lac pavin <b>Mahamat-Ahmat Adoum</b>	247
Perte de masse et transformation de la matière organique de débris de bois enfouis dans le sol en milieu tropical humide <b>Fujisaki Kenji</b>	248
Caractérisation de la concentration en carbone organique du sol à l'échelle de la France par spectrométrie proche et moyen infrarouge <b>Clairotte Michaël</b>	250
Influence de vers de terre ( <i>Lombricus terrestris</i> ) sur l'incorporation de biomasses végétales marquées ( <sup>13</sup> C) dans un sol en conditions contrôlées <b>Vidal Alix</b>	252
Rôle de filaments carbonés abiotiques sur la stabilisation à long terme de cryosols du Spitzberg <b>Courty Marie-Agnès</b>	253

## SESSION 11: Cycles Biogéochimiques et gestion forestière

---

Modérateurs : A. Legout, M. Nicolas, E. Dambrine

### COMMUNICATIONS ORALES

L'apport des dispositifs de suivi pour la réponse aux questions prégnantes sur les sols <b>Nicolas Manuel</b>	255
Minéralisation de l'azote du sol dans un peuplement pur et mixte d' <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>grandis</i> et d' <i>Acacia mangium</i> et dans une savane, dans le sud-ouest	

du Congo

**Tchichelle Sogni Viviane**

256

Influence du climat et des facteurs pédologiques sur la nutrition et la productivité de *Salix miyabeana* SX 67 en régis de culture intensive

**Fontana Mario**

258

Apports des isotopes naturels du Magnésium, Lithium et Bore à la connaissance des cycles biogéochimiques en forêt

**Boulou-Bi Emile**

260

Redéfinition du concept de fertilité minérale des écosystèmes forestiers

**Legout Arnaud**

262

*AFFICHES*

Mesures d'absorption d'eau et de production de carbone soluble de mulchs, sous l'effet de pluies contrastées

**Girardin Cyril**

263

Gestion de la fertilité de sols forestiers acides par recyclage de cendres de bois : présentation du dispositif expérimental ICIF (Itinéraires de Cultures Innovantes en forêt pour la production de biomasse) dans les Ardennes

**Pousse Noémie**

265

Effet à court terme de la plantation de TTCR de saules sur l'évolution des matières organiques de sols alluviaux calcaires.

**Stauffer Marie**

267

---

## **SESSION 12: Sols, sédiments et archives pédologiques**

---

Modérateurs : J. Poulenard, E. Chalmin

### *COMMUNICATIONS ORALES*

Introduction au journées Frog

**Disnard Jean Robert**

Les archives pédologiques : nouvelles approches en spectroscopie proche-infrarouge et sur les biomarqueurs moléculaires lipidiques. Les apports du programme GESSOL-APOGEE

**Schwartz Dominique**

269

Datation des biomarqueurs terrestres préservés dans les sédiments lacustres : indicateur historique de la dynamique des sols

**Lavrieux Marlène**

270

Evolution Holocène des sols d'un bassin versant de moyenne montagne, le lac de La Thuile (Massif des Bauges) : impacts climatiques et anthropiques

**Bajard Manon**

271

Exportation du carbone des sols en environnement karstique préalpin durant les derniers millénaires à partir du contenu organique des spéléothèmes. <b>Quiers Marine</b>	<b>273</b>
Approche pédoanthracologique de l'histoire des sols forestiers et de leurs exploitations anthropiques passées <b>Feiss Thomas</b>	<b>274</b>
Quelle relation entre la stabilité du C des sols et son âge? Apport d'une chronoséquence de sol en jachère nue. <b>Lefèvre Romain</b>	<b>276</b>
Les sols de charbonnières comme modèle d'étude d'un amendement de biochar à l'échelle des siècles <b>Naisse Christophe</b>	<b>278</b>
Tétraéthers de diglycérol dans un profil de sol vosgien : distributions, datations et origines. <b>Courel Blandine</b>	<b>279</b>
L'apport des colluvions agricoles dans la reconstitution des dynamiques paysagères à partir de la méthode de la Spectroscopie dans le Proche InfraRouge (SPIR) qualitative. <b>Froehlicher Lucie</b>	<b>280</b>
Analyses des distributions et des compositions isotopiques actuelles des n-alcanes en provenance des lacs de la région de Wilderness (Cap-Occidental, Afrique du Sud) en vue d'une reconstruction de la paléo-végétation et paléo-hydrologique <b>Davtian Nina</b>	<b>282</b>
Comparaison de méthodes chimiques et thermochimiques pour l'analyse des sucres d'une tourbière du Limousin <b>Abdelli Ghislaine</b>	<b>283</b>
Reconstitution de l'histoire de la formation sédimentaire d'une tourbière impactée par une perturbation argileuse par l'étude de biogéomarqueurs moléculaires <b>Younes Khaled</b>	<b>284</b>
Diversité structurale, rôle écophysiological et utilité potentielle pour les études (paléo)environnementales des éthers de glycérol bactériens <b>Vinçon-Laugier Arnaud</b>	<b>285</b>
<i>AFFICHES</i>	
Dynamiques d'évolutions des luvisols suivant leurs histoires agricole et forestière <b>Feiss Thomas</b>	<b>286</b>
Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace ? Perspectives historiques, systèmes agraires du futur, érosion, effets sur le colluvionnement et le stockage de carbone. <b>Froehlicher Lucie</b>	<b>288</b>

L'héritage pédo-sédimentaire des paléo-lacs Holocènes du Nord Sahara : signification paléo-climatique, cas de site de Sedrata (cuvette de Ouargla), Algérie  
**Hamdi-Aïssa Baelhadj** 290

Changements environnementaux au lac Pavin (Massif Central, France) depuis sa formation basés sur les biomarqueurs organiques  
**Lattaud Julie** 292

---

### SESSION 13: Suitma's

---

Modérateurs : JL. Morel

#### *COMMUNICATIONS ORALES*

Sols de jardins potagers : des caractéristiques intermédiaires entre sols agricoles et SUITMAs  
**Joimel Sophie** 293

Modélisation de la pédogenèse : application aux Technosols  
**Leguédois Sophie** 295

Effets de l'apport initial de terre végétale et de l'âge des sols urbains sur les vers de terre  
**Vergnes Alan** 297

Dynamique de la structure d'un Technosol construit sous l'impact de facteurs biologiques, plante et macrofaune  
**Watteau Françoise** 299

Pédogenese de technosols miniers: l'implication de la matiere organique  
**Pascaud Grégoire** 301

#### *AFFICHES*

Pédogenese de differents technosols miniers: vers une meilleure comprehension  
**Pascaud Grégoire** 302

## **SESSION 14: Contaminants organiques et minéraux, transferts**

---

Modérateurs : C. Quantin, C. Keller, A. Bispo

### *COMMUNICATIONS ORALES*

- Contamination et origine du plomb des sols en contexte péri-urbain : ce que nous apporte l'isotopie  
**Quantin Cécile** 304
- Distribution des métaux et métalloïdes dans des profils de sols du massif des Calanques le long d'un gradient de pollution  
**Keller Catherine** 306
- Biodisponibilité des métaux dans des sols contaminés in situ : Apport de la compartimentation des métaux dans les vers de terre  
**Beaumelle Léa** 308
- Transfert et rétention d'un nématocide "cadusafos" dans les sols volcaniques Antillais  
**Fernandez-Bayo Jésus D.** 310
- Modélisation de l'effet de la structure du sol sur les flux d'eau et d'isoproturon dans un sol cultivé recevant des apports répétés de compost  
**Coquet Yves** 312
- Mobilisation et rétention du diuron dans les fonds de fossés suite à une expérimentation de succession de crues  
**Samouelian Anatja** 314
- Devenir de résidus de médicaments dans les sols lors de l'épandage de boues d'épuration ayant subis différents traitements  
**Soubrand Marilyne** 316
- Dynamique des Produits Pharmaceutiques dans les sols et sédiments  
**Morel Marie-Christine** 318
- Evaluation de la réactivité des matières organiques et de l'argile dans un sol limono-argileux par l'analyse des phases réactives des agrégats  
**Spadini Lorenzo** 320
- AFFICHES*
- La respiration du sol et le comportement des vers de terre comme indicateurs d'impacts écotoxiques Travaux pratiques de Master (UAPV)  
**Bérard Annette** 322
- Enseignements tirés de la comparaison des résultats analytiques entre deux campagnes du RMQS, en Région Centre  
**Boulonne Line** 324

Validation interlaboratoire d'un nouveau test végétal normalisé ISO pour mesurer la phytodisponibilité environnementale des éléments traces <b>Bravin Mathieu</b>	<b>326</b>
Quid des pesticides présents dans les sols agricoles ? Étude du transfert sol - air <b>David Bernard</b>	<b>328</b>
Etude du devenir de la chlordécone dans les sols volcaniques tropicaux <b>Fernandez-Bayo Jésus D.</b>	<b>330</b>
Evaluation de la contamination des sols des zones de culture cotonnière au Togo par les pesticides <b>Koriko Moursalou</b>	<b>332</b>
PAHs transfer from atmosphere to soil forests <b>Négro Sara</b>	<b>333</b>
Modélisation de la spéciation de Cu, Ni, Pb et Zn dans les solutions de sols contaminés <b>Ponthieu Marie</b>	<b>335</b>
Évaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux d'Oued Fès et Oued Sebou (Maroc) <b>Kouchou Aziza</b>	<b>337</b>
Apport du traitement géostatistique dans la spatialisation de la contamination polymétallique de sol par les activités minières <b>Soubrand Marilyne</b>	<b>339</b>
Mobilité des éléments traces métalliques dans des sols industriels fortement contaminés de Champagne-Ardenne <b>Schneider Arnaud</b>	<b>341</b>
Effet de la phytostabilisation de remblais miniers sur la mobilité de métaux lourds (Zn, Pb et Cd) : le cas des Avinières à St Laurent le Minier. <b>Navel Aline</b>	<b>343</b>
Impacts de l'origine et du traitement de produits résiduaux organiques valorisés en agriculture sur le devenir et la disponibilité des antibiotiques entrant dans les sols cultivés <b>Goulas Anaïs</b>	<b>345</b>
Dynamique des échanges de polluants à l'interface Sol-Air. Etudes en Laboratoire et sur Sites pollués <b>David Bernard</b>	<b>347</b>
Caractérisation des risques de contamination de deux sols tropicaux par les éléments traces métalliques en contexte de recyclage des produits résiduaux organiques <b>Hodomihou Richard</b>	<b>348</b>

## **SESSION 16: Construction en terre**

---

Modérateurs : R. Anger

### *COMMUNICATIONS ORALES*

Panorama mondial du patrimoine architectural en terre

**Guillaud Hubert**

**350**

Architectures contemporaines en terre

**Le Tiec Jean-Marie**

**350**

Physique des grains et des argiles appliquée à la construction

**Anger Romain**

**350**

## Sols, formations superficielles et régolithe

BOURRIE Guilhem<sup>1</sup> et DEWOLF Yvette<sup>2</sup>

<sup>1</sup>. UMR 1114 Inra-UAPV Environnement méditerranéen et modélisation des agro-hydrosystèmes, Avignon, guilhem.bourrie@avignon.inra.fr

<sup>2</sup>. Professeur émérite, Université Paris 7 Denis Diderot, yvette.dewolf@yahoo.com

Suivant la nouvelle définition adoptée par l'Afés, « Le sol est un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse. L'épaisseur du sol peut varier de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres, ou plus. Il constitue, localement, une partie de la couverture pédologique qui s'étend à l'ensemble de la surface de la Terre. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux (la terre). Cette organisation est le résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et microorganismes). »

La délimitation dans l'espace des sols et des formations superficielles est discutée à partir d'exemples complexes ayant fait l'objet d'études détaillées : loess, paléosols, arènes granitiques, argiles à silex, cuirasses. Ces formations, meubles ou indurées peuvent être classées comme autochtones, subautochtones ou allochtones, polyphasées ou polycycliques.

Les altérations profondes, rétromorphoses ou rétrodiagenèse, consistent en des transformations minéralogiques et géochimiques dans des « microsystemes d'altération », et sont indépendantes du climat. Les altérations climatiques prennent le relais lorsque le système s'ouvre aux influences du cycle hydrologique. D'abord à structure conservée, elles préparent la transformation structurale pédogénétique. L'examen montre ainsi que la transition entre sol et formation superficielle peut être très graduelle, aussi bien sur roche meuble que sur roche dure, mais que l'acquisition d'une structure pédologique, par opposition à la structure pétrographique est ce qui distingue le plus nettement les sols des formations superficielles dans lesquelles elles se développent. Le cas le plus emblématique est celui de l'agrégat biologiquement construit, produit d'une « intense activité biologique » impliquant les racines et la faune et non pas seulement les microorganismes. Ceci permet de discuter la notion de régolithe : le régolithe martien est-il ou non un sol ?

Les exemples discutés montrent clairement que : (i) la pédogenèse se distingue par une organisation de la matière spécifique, qui a beaucoup des propriétés de la « matière molle » ; (ii) la bioturbation par les végétaux supérieurs et la faune du sol est essentielle dans l'apparition des structures pédologiques par opposition aux structures lithologiques ; (iii) la pédogenèse nécessite la stabilité géodynamique de la formation superficielle dans laquelle elle se développe ; la caractérisation de la dynamique des formations superficielles est essentielle à la compréhension de la dynamique des sols, et de l'influence de la « topographie » ou du « relief » comme facteur de la pédogenèse ; (iv) l'induration ou l'ameublissement et l'érosion peuvent réduire ou agrandir l'espace ouvert aux cycles biogéochimiques, donc l'épaisseur du sol « proprement dit » ; (v) le terme de régolithe, étendu pour englober « tout matériel d'origine continentale, quel qu'en soit l'âge, recouvrant les roches saines et dures (« bedrock ») » (Brgm, 2012) ne correspond pas à la réalité du reg, qui désigne un désert de pierres résultant d'une désagrégation mécanique, et passe à côté de l'essentiel de la dynamique des formations superficielles. Dans la mesure où une « intense activité biologique » y est absente, le « régolithe » martien n'est pas un sol.





Fig.1 : Coupe de loess et de paléosols Saint-Pierre-lès-Elbeuf

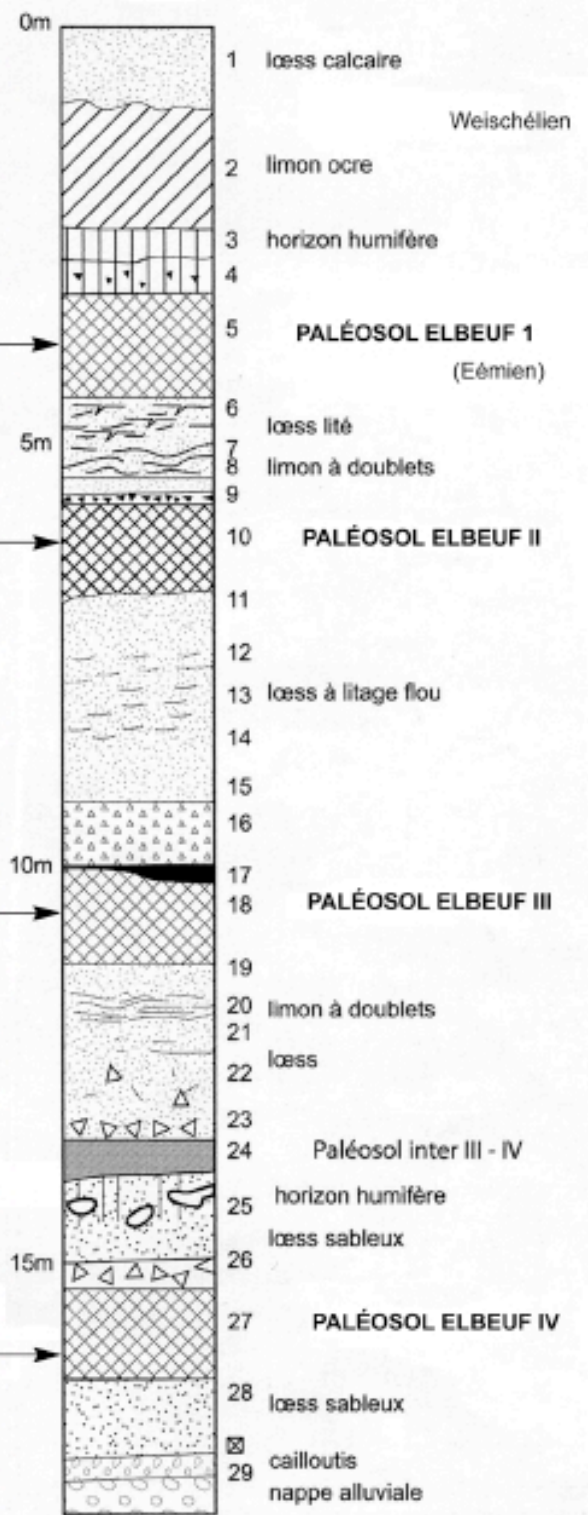


Fig.2 : Profil de la paroi loessique des coupes 1 et 2 de Saint-Pierre-lès-Elbeuf

## Un FACTEUR MÉCONNU de la PÉDOGENÈSE dans le cas de MATÉRIAUX CALCAIRES : la GRANULOMÉTRIE des FRACTIONS NON CARBONATÉES

Denis Baize

INRA, UR0272 Science du Sol, F-45075 Orléans Cedex 2

[denis.baize@orleans.inra.fr](mailto:denis.baize@orleans.inra.fr)

Parmi les facteurs de la pédogenèse sous climats tempérés, il en est un complètement méconnu relatif aux matériaux parentaux calcaires : la nature minéralogique et surtout granulométrique des résidus non carbonatés. Ces résidus peuvent être aujourd'hui facilement étudiés au laboratoire car ils sont insolubles aux acides chlorhydrique ou acétique.

Sous des climats comme ceux du nord de la France ou des montagnes arrosées du Jura, la décarbonatation totale des sédiments initialement très calcaires conduit à l'accumulation relative des minéraux silicatés (quartz, minéraux argileux) et des éléments en traces (Cd, Zn) et majeurs (fer).

Lorsque les silicates ainsi libérés sont à dominance sableuse, les sols formés sont essentiellement sableux et ils peuvent évoluer vers des podzosols (en absence d'argile) ou vers des luvisols. Lorsqu'au contraire les minéraux argileux (hérités ou néoformés) dominant, les sols sont argileux voire argileux lourds et leur évolution à long terme en est définitivement affectée : on observe alors soit des brunisols argileux, soit des Néoluvisols, soit des planosols voire des pélosols.

Cinq exemples seront présentés :

\* Le cas de la Champagne joviniennaise (département de l'Yonne) où différentes « formations calcaires redistribuées » au Quaternaire (FCR) ont donné naissance à une très grande variété de sols ([Baize, 1988](#)). La présence de ces FCR n'est souvent décelable que grâce à des sondages profonds.

\* En bordure sud de la Forêt de Fontainebleau, sur le plateau formé par le calcaire d'Étampes, des sols sableux en surface, s'avèrent beaucoup plus fertiles que ceux formés directement dans les sables stampiens, et portent en conséquence de belles futaies. Développés à partir de matériaux calcaires redistribués par le vent, ils peuvent être désignés comme des Luvisols Typiques ([Morand, 1966 & 1967](#); [Robin & Deconinck, 1975](#) ; [Robin, 1993](#)).

\* Quelques kilomètres plus au sud, à proximité de Puiseaux, il a été montré que, à 800 m de distance, on pouvait observer un Calcisol argileux ou un Luvisol Typique sableux, tous deux issus d'une FCR d'aspect semblable, le principal critère de différenciation étant la granulométrie du résidu insoluble ([Girard et Baize, 1996](#)).

\* Enfin, dans le Haut Jura, sous des climats à forte pluviosité, il existe localement des podzosols très typiques issus de la décarbonatation totale et relativement rapide de matériaux morainiques riches en minéraux silicatés ([Vadi et Gobat, 1998](#)).

\* Sans oublier les « terres d'Aubues » des plateaux de Basse Bourgogne ([Baize, 2012](#)), dans un contexte un peu différent de calcaires marins jurassiques et de durées très longues.

Dans toutes ces situations, l'évolution pédogénétique est entièrement déterminée par la granulométrie du résidu de décarbonatation du matériau calcaire initial.

*Bibliographie*

- Baize D., 1988 - Les formations calcaires redistribuées du Jovinien et les sols qui en sont issus. *Science du Sol*. 26 (2), pp. 113-136.
- Baize D., 2012 - Les "terres d'Aubues" de Basse Bourgogne : nouvelle synthèse et bilan de matières à très long terme. *Étude et Gestion des Sols*, 19, 3-4, pp. 139-161.
- Girard C.M. et Baize D., 1996 - Niveaux d'organisation et écosystèmes : exemple des îlots boisés et terroirs circulaires en Gâtinais. *Nature, Sciences, Sociétés*. 4, (4), pp. 310-323.
- Morand F., 1966 – Observations géomorphologiques et pédologiques dans la région de Fontainebleau. *Bull. AFEQ* (2), pp. 120-138.
- Morand F., 1967 – Sur la couverture meuble des plateaux dans la région de Fontainebleau. *Bull. AGBP* (13), pp. 221-223.
- Robin A.M. & Deconinck F., 1975 - Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferri-argillique en Forêt de Fontainebleau. *Bull. AFES - Science du Sol* (3), pp. 213-228
- Robin A.M., 1993 - Catalogue des principales stations forestières de la Forêt de Fontainebleau. UPMC et ONF, mars 1993, 371 p.
- Vadi G. et Gobat J.-M., 1998 - Le paradoxe de la podzolisation en domaine jurassien. Aspects pédologiques et phytosociologiques. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 121 : 79-91.

## La carte des sols à 1/100 000 de Thonon-Chamonix Axes de publication prochaine

**PARTY Jean-Paul<sup>1</sup>, DAMBRINE Etienne<sup>2</sup>, DORIOZ Jean-Marcel<sup>3</sup>, LEGROS Jean-Paul<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Sol-Conseil, 251 route La Wantzenau 67000 Strasbourg, France, [jpparty@wanadoo.fr](mailto:jpparty@wanadoo.fr)

<sup>2</sup> INRA-Université de Savoie, UMR CARTELE, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex

<sup>3</sup> INRA-Université de Savoie, UMR CARTELE, 75 avenue de Corzent 74200 Thonon-les-Bains

<sup>4</sup> 1 bis rue de Verdun 34000 Montpellier

La carte des sols à 1/100 000 de Thonon-Chamonix a été mise en chantier par JP. Legros et JP. Party en 1981-1982. Selon le découpage IGN classique, il s'agit de 2 feuilles, mais les moitiés est des feuilles de Thonon comme de Chamonix étant en Suisse, leur regroupement selon une présentation verticale s'est logiquement imposé. L'essentiel des travaux de terrain a été mené jusqu'à la fin des années 1980 par le laboratoire de Science des sols de l'INRA Montpellier (JP. Legros, P. Falipou, JP. Barthès), avec des contributions complémentaires du laboratoire de Science du Sol de l'INRA Versailles et de l'INRA de Thonon-les-Bains (M. Robert, F. Van Ort, E. Dambrine et JM. Dorioz). Ces travaux ont enfin été complétés d'une part au milieu des années 1990 avec l'étude de plusieurs réserves naturelles de Haute-Savoie (Party, 1995) et au début des années 2000 à l'occasion de la réalisation du Référentiel Pédologique du département de Haute-Savoie (JP. Party et N. Muller, 2004). Lors de cette dernière phase d'étude, de nombreuses données existantes complémentaires ont été recueillies localement (B. Bachasson, L. Richard). De multiples données y ont donc été acquises à toutes les échelles et cette carte, qui couvre environ 160 000 ha, présente 250 profils de sols décrits et analysés (soit 1 pour un peu plus de 600 ha) dont environ 100 couplés à des relevés de végétation.

Une rapide revue des cartes INRA à 1/100 000 publiées à ce jour montre que seulement 6 d'entre elles concernent des secteurs de montagne, mais d'altitude moyenne sans étages subalpin et alpin (Vosges, Jura, Pré-Alpes du Sud, Pyrénées Orientales, est du Massif Central). Par ailleurs, toutes les cartes publiées ont successivement montré une approche pédogénétique jusqu'au milieu des années 1990, puis plutôt pédopaysagère depuis. Sur la feuille de Thonon-Chamonix, il existe plusieurs cartes de végétation à moyenne échelle dont une exhaustive à 1/100 000 (Richard L., 1975). En outre, plusieurs bassins versants de référence ont été étudiés pour détailler les fonctionnements pédologiques, hydrologiques et agronomiques que ce soit en milieu cristallin et sédimentaire carbonaté ou non (Legros et Cabidoche, 1977, Legros *et al.*, 1987, Dambrine, 1987...). Des faits parfois étonnants vis-à-vis de la profondeur des sols ou bien de l'absence presque complète de sols calcaires sur les substrats carbonatés y ont été relevés. Cet ensemble de données aussi riche que varié autorise ainsi un renouvellement de l'approche et de la présentation des cartes à 1/100 000, d'une part en faisant le lien entre études détaillées à l'échelle du petit bassin-versant et une généralisation à moyenne échelle, et d'autre part en introduisant les relations sols-végétation et notamment au plan de la biodiversité et de leur intérêt au plan agro-pastoral (Dorioz et Party, 1987) avec des données sur la productivité prairiale et pastorale (travaux du GIS alpes du Nord).

La carte de Thonon-Chamonix, où se trouvent à la fois le plus grand lac et le « toit » de l'Europe mondialement connus, sera ainsi la première d'un secteur de haute montagne alpestre à être publiée et comblera cette lacune avec une approche originale et inédite.

## **Bibliographie :**

Dambrine E., 1987. Répartition, morphologie et fonctionnement des podzols de haute montagne cristalline sous climat tempéré. *Science du Sol*, n° Spécial "podzols et podzolisation" Righi D. et Chauvel A. (Eds), 207-223

Dorioz J.M., Party J.P., 1987. Dynamique écologique et typologie de territoires pastoraux des Alpes du Nord. 1. Analyse de l'organisation d'un alpage de référence. *Acta Oecol. Oecol Appl.*, 8(3), 257-280.

Legros J.P., Cabidoche Y.M., 1977. Les types de sols et leur répartition dans les Alpes et les Pyrénées cristallines. *Doc. Cartogr. Ecol.*, 19, 1-19

Legros J.P., Party J.P., Dorioz J.M., 1987. Répartition des milieux calcaires, calciques et acidifiés en haute montagne humide. Conséquences agronomiques et géologiques. *Doc. Cartogr. Ecol.*, 30, 137-157

Party J.P., 1995. Les alpages des réserves naturelles de Haute-Savoie. Typologie et zonage des unités écologiques et pastorales. Détermination d'indicateurs de valeur patrimoniale. Sol-Conseil / APEGE – Comité Scientifique des Réserves Naturelles de Haute-Savoie. 60 p. + annexes

Party J.P., Muller N., 2004. Cartographie des sols de la Haute-Savoie et du Pays de Gex. Sol-Conseil / Sol-Info Rhône-Alpes / IGCS – INRA/Ministère de l'Agriculture. 95 p. + annexes

Richard L., 1975. Carte écologique des Alpes à 1/100 000. Feuille de Thonon-Chamonix. *Doc. Cartogr. Ecol.*, 16, 65-96

### *Autres contributeurs de la carte :*

*BACHASSON Bernard<sup>5</sup>, BARTHES Jean-Pierre<sup>6</sup>, FALIPOU Pierre<sup>7</sup>, HUMBERT Lionel<sup>1</sup>, MULLER Nicolas<sup>1</sup>, Van ORT Folkert<sup>8</sup>, RICHARD Lucien<sup>+</sup>, ROBERT Michel<sup>+</sup>*

<sup>5</sup> Chantemerle 01800 Le Montellier

<sup>6</sup> 1 La Placette 34725 Jonquières

<sup>7</sup> 6 lot Hauts de Murviel 34570 Murviel

<sup>8</sup> INRA, UR 251 - PESSAC, RD 10, 78026 Versailles Cedex



## **Altération de basalte et de rhyo-dacite et formation des minéraux argileux en climat sub-tropical au sud du Brésil**

**CANER Laurent<sup>1\*</sup>, RADTKE Leopoldo M.<sup>1,2</sup>, INDA Jr Alberto V.<sup>3</sup>, and MEXIAS André S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université de Poitiers, IC2MP-HydrASA UMR 7285, B35, 5 rue Albert Turpain, TSA51106 86073 POITIERS, France, \*: laurent.caner@univ-poitiers.fr

<sup>2</sup> Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>3</sup> Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 90001-970, Porto Alegre, RS, Brazil

L'état du Rio Grande do Sul au sud du Brésil est fortement cultivé et de manière assez intensive (semis direct, cultures industrielles de maïs, soja et blé) du fait de son climat sub-tropical. Les sols très altérés des régions tropicales sont généralement caractérisés par une minéralogie dominée par la kaolinite et les oxydes de fer. Cependant, les conditions climatiques tempérées et humides ( $T_{moy} = 18^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 1400-1700\text{mm/an}$ ) rencontrées dans les hauts plateaux volcaniques du Rio Grande do Sul (*Serra Geral*) favorisent une pédogenèse moins intense (coexistence de sols ferrallitiques très altérés et de sols moins altérés) ; l'accumulation de matière organique et l'occurrence de minéraux argileux 2:1.

Le but de ce travail est de comparer les processus d'altération et de formation des sols sur les deux principales roches rencontrées dans cette région. Deux profils d'altération (sol, saprolite, roche saine) ont été échantillonnés sur basaltes et rhyo-dacites à une altitude comprise entre 750 et 850 m. Les propriétés physico-chimiques des sols ont été déterminées par les analyses pédologiques de routine et les minéraux argileux ont été caractérisés par diffraction des rayons X, spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier et extractions chimiques sélectives. L'intensité d'altération a été estimée par analyse chimique totale, calcul des indices d'altération (CIA, WIS) et des bilans de masse.

La minéralogie des sols est dominée par la kaolinite, les oxy-hydroxydes de fer et des minéraux argileux 2:1. Dans les horizons de saprolite ces minéraux 2:1 correspondent à des smectites. Les horizons de surface présentent des intergrades alumineux (vermiculites et smectites hydroxy-alumineuses – HIV, HIS) provenant de l'aluminisation des smectites en conditions acides et en présence de matière organique. Le profils sur rhyo-dacite est marqué par la présence de gibbsite qui est absente dans le profil sur basalte.

Les résultats des bilans de masse montrent une perte importante de tous les éléments ( $\Delta 4\text{Si}$ , WIS et CIA élevés) et une accumulation résiduelle d'oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium. Les degrés d'altération (perte d'éléments) sont plus importants sur rhyo-dacite que sur basalte bien que cette roche soit plus riche en silice. Ces résultats montrent l'influence du matériel parental sur la composition des saprolites et des sols et sur les indices d'altération en climat subtropical. D'autre part la présence de minéraux 2:1 (smectite, HIV, HIS) doit être prise en compte dans la gestion de ces sols sub-tropicaux car même en faible proportion ces minéraux peuvent contrôler l'échange cationique (CEC, rétention des cations) et plus généralement leur fertilité.

## Les champs hidromorphiques avec murundus dans le Cerrado et leurs relations avec la formation des argiles alumineuses et le stockage de carbone.

ROSOLEN Vania<sup>1</sup>; COELHO Carla Vanessa de Sousa<sup>1</sup>; MONTES Célia Regina<sup>2</sup>; YSHIDA Débora Ayumi<sup>2</sup>; BUENO Guilherme Taitson<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. de Pétrologie et Metalogenie, UNESP/Rio Claro (SP). Équipe de recherche NUPEGEL. Av. 24A, 1515, CP 178, Rio Claro (SP), CEP: 13506-900. Brésil. E-mail: vrosolen@rc.unesp.br

<sup>1</sup> Depto. de Pétrologie et Metalogenie, UNESP-Rio Claro (SP). Équipe de recherche NUPEGEL. Av. 24A, 1515, CP 178, Rio Claro (SP), CEP: 13506-900. E-mail: carla.vsc1@gmail.com

<sup>2</sup> Centre de Energie na Agriculture/NUPEGEL, USP/Piracicaba (SP). Équipe de recherche NUPEGEL. Av. Pádua Dias, 11, CP 9, Piracicaba (SP), CEP: 13418-900. E-mail: crmlauar@usp.br

<sup>2</sup> Institute de Energie e Environment/NUPEGEL, USP/Piracicaba (SP). Équipe de recherche NUPEGEL. Av. Pádua Dias, 11, CP 9, Piracicaba (SP), CEP: 13418-900. E-mail: yshida@usp.br

<sup>3</sup> Depto. de Géographie/PUC-Minas. Équipe de recherche NUPEGEL. Av. Itaú, 505, Belo Horizonte (MG), CEP 30535-012. E-mail: gtaitson@ig.com.br.

### Resumé:

Sur la surface du plateau sédimentaire, recouvert par le Cerrado dans l'Ouest de l'État de Minas Gerais (Brésil), le paysage pédologique est caractérisé par l'association de Latossolo jaune (sol latéritique), développé sur le sommet de plateau, et de Gleissolo (sol hidromorphique), présent dans les dépressions topographiques mal drainées. Ces sont des zones qui concentrent de l'eau de pluie et de la remontée du niveau phréatique. Dans les zones de dépression et saisonnièrement très humides du relief, qui sont actuellement en position de tête de sources du réseau hydrographique, sont présents des micro-reliefs de murundus produits par l'activité des termites (Figure 1).

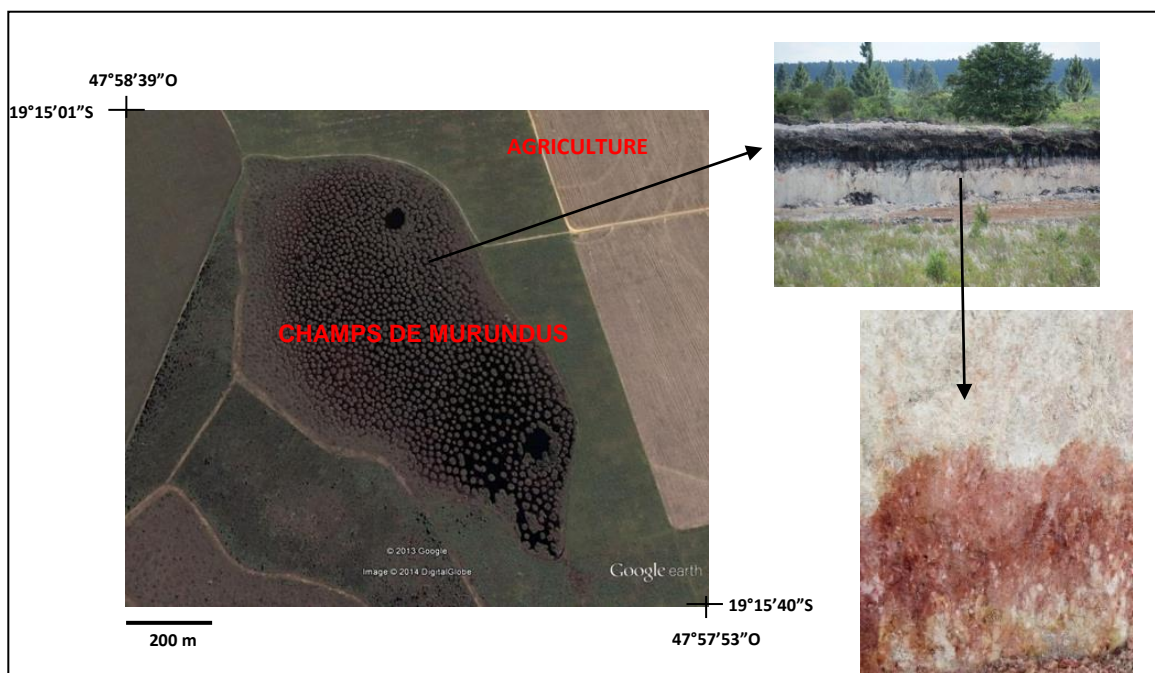


Figure 1 : Champs de murundus entourés par l'agriculture intensive. Dans le détail, la dépression topographique avec Gleissolo et la couche de d'argile alumineuse sur plinthite.

Les zones avec Gleissolos et murundus ont une importance singulière dans le Cerrado en fournissant de nombreux services environnementaux tels que la régulation du flux hydrique dans le réseau fluvial, le stockage de l'eau, le stockage du carbone, la rétention des sédiments et des substances toxiques, le contrôle de l'érosion, entre autres. Malgré leur importance environnementale, ces zones ont leur surface progressivement réduite à cause de la conversion de l'utilisation des terres par l'agriculture.

Dans la zone d'étude, trois propriétés liées aux domaines de murundus avec Gleissolos sont l'objet d'intérêt dans cette recherche (1) la présence de sols argileux, déferrugineux et alumineux, explorés pour l'industrie de matière réfractaire, (2) qui sont considérés comme des zones de stockage de carbone dans le Cerrado (Cerrado s.s.) et (3) sont entourés par l'agriculture intensive qui avance des bords vers le centre, en transformant ses propriétés naturelles. L'objectif de cette recherche est de comprendre la genèse et le fonctionnement de ce paysage pédologique, les processus géochimiques et minéralogiques impliqués dans l'enrichissement alumineux, la nature et la dynamique des matières organiques du sol qui sont encore incertaines.

Les résultats des oxydes totales ont montré une forte perte de  $\text{SiO}_2$  et de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  accompagnée par l'enrichissement de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , de la roche vers la couche d'argile alumineuse. Des observations microscopiques sur des lames minces montrent la déferruginisation de la matrice qui cimente des grains de quartz et de la formation de micro-agrégats dans les pores biologiques, indiquant l'importante bioturbation de la matrice.



## Intérêt des rayonnements gamma naturels pour cartographier l'argile dans différentes ambiances géopédologiques

COULOUMA Guillaume<sup>1</sup>, LOONSTRA Eddie<sup>2</sup>, LAGACHERIE, Philippe<sup>1</sup>

1: UMR LISAH, INRA, 2 place Viala, 34060 Montpellier, coulouma@supagro.inra.fr

2: Groningen, The Netherlands, eddieloonstra@hotmail.com

### Introduction

Le rayonnement gamma naturel est produit principalement par la désintégration de trois isotopes radioactifs présents dans les roches et les sédiments. Il s'agit du potassium 40, du Thorium 232 et de l'Uranium 238. L'utilisation des rayonnements gamma naturels a été largement développée en géologie pour découvrir des gisements d'intérêts pour l'industrie minière. Depuis une dizaine d'année, de nouveaux capteurs permettant de mesurer facilement les rayonnements gamma ont permis un développement en science du sol avec des campagnes de détection aéroportées et des mesures in situ. De nombreux travaux dans la littérature montrent la possibilité d'utiliser ces rayonnements pour cartographier au sol des propriétés de l'horizon cultivé comme le taux d'argile et la matière organique. Les méthodes utilisées nécessitent généralement une calibration locale car la relation entre les éléments et les propriétés sont dépendantes des conditions d'évolutions des sols et de l'âge des minéraux présents. Dans le cas de sols méditerranéen le plus souvent issus de redistributions et fortement dépendant des matériaux géologiques à dominante sédimentaire, cette technique de cartographie n'a pas été souvent utilisée. L'objectif de cette étude est de comparer les rayonnements mesurés et de proposer une cartographie du taux d'argile sur un réseau de 8 parcelles caractéristiques de différents contextes géopédologiques méditerranéens.

### Matériels et Méthodes

Table 1 : Description des principales caractéristiques du réseau de parcelles (WRB,2006)

Parcelles	Taille m <sup>2</sup>	géopédologie	Propriétés de l'horizon cultivé Moyenne (écart type)				
			A (g/kg)	L (g/kg)	S (g/kg)	pH	EG (g/kg)
P1	17140	Class VI	234(54)	227(39)	539(92)	8.2(0.5)	101(71)
P2	5729	Class VI	262(31)	225(33)	513(80)	8.5(0.1)	79(41)
P3	32315	Class VII	335(41)	278(43)	387(95)	7.2(0.7)	102(99)
P4	8000	Class V	321(25)	401(16)	278(30)	6.9(0.6)	-
P5	5634	Class II	242(55)	438(30)	330(47)	8.6(0.1)	441
P6	8500	Class III	221(38)	428(102)	351(137)	8.2(0.1)	-
P7	7880	Class I/Class II	153(39)	206(17)	641(90)	8.7(0.1)	382
P9	7000	Class IV	175(21)	288(51)	537(55)	8.6(0.1)	4(5)

I/Sols peu profonds directement développés sur calcaire dur - Calcisol (skeletal)

II/Sols profonds en bas de versant dans le même environnement – Cambisol (calcaric)

III/Sols développés sur sédiments marins récents – plaggic Cambisol

IV/Sols développés sur sédiments marins riches en micas – Calcisols (siltic)

V/Sols développés sur des sédiments tertiaires variés – Calcisols (clayic)

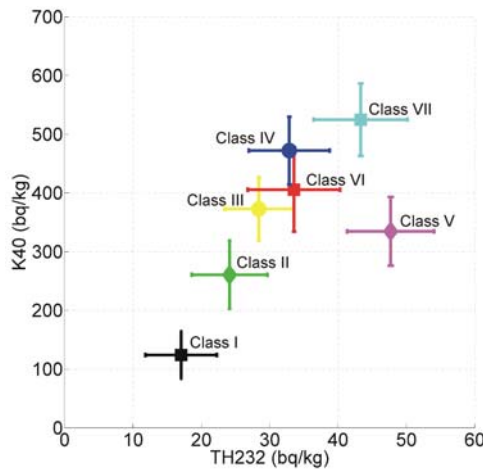
VI/Sols développés sur des reprises d'alluvions anciennes – Cambisols (clayic)

VII/Sols développés sur des alluvions anciennes évoluées – Fluvisols (skeletal)

L'étude s'appuie sur un réseau de parcelles de vignes représentatives des principaux contextes géopédologiques méditerranéens, dont les sols et matériaux géologiques associés ont été déterminés et cartographiés à l'échelle parcellaire (Table 1). Une campagne de mesure du rayonnement gamma a été réalisée par The Soil Compagny à l'aide d'un capteur « The Mole » constitué d'un cristal d'iodure de césium. Par ailleurs, un ensemble

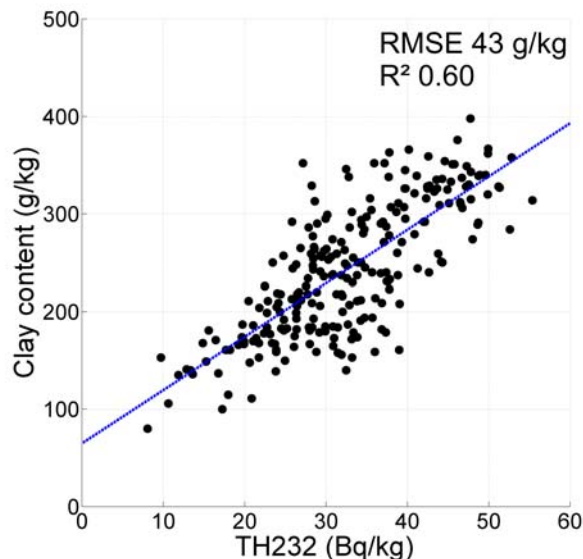
indépendant de 120 échantillons de sol pour la calibration et la validation a été constitué sur le réseau de parcelle.

### Quelques résultats



**Figure 1** : Diagramme de corrélation entre le K40 et le TH232 en fonction des différents milieux géopédologiques

Les mesures du rayonnement gamma réalisées sur l'ensemble du réseau de parcelles montrent une forte variabilité entre les différents radionucléides en fonction des différents contextes géopédologiques (figure 1). Les teneurs et la nature des minéraux présents dans les sols expliquent en partie cette variabilité. Le TH232 se retrouve fixé lors de son lessivage par les argiles présentes dans le sol. Il est donc possible d'utiliser ce radionucléide comme prédicteur du taux d'argile. La figure 2 montre la relation entre le TH232 et le taux d'argile granulométrique analysé sur le réseau de parcelle. Ce résultat permet d'utiliser une loi régionale pour prédire le taux d'argile à l'échelle parcellaire dans un milieu à forte variabilité d'âges et de types de matériaux géologiques.



**Figure 2** : Diagramme de corrélation entre le taux d'argile et le Th232 sur l'ensemble des points de validation du réseau de parcelle.

# **La présence d'une nappe d'eau dans des sols hydromorphes forestiers : à quelle profondeur, quand et combien de temps ?**

## **Les apports d'un suivi piézométrique pluriannuel**

**LUCOT Éric<sup>1</sup>, CHARNET François<sup>2</sup>, DEGIORGI François<sup>1</sup>, LAMBERT Jean-Claude<sup>1</sup>, STEINMANN Marc<sup>1</sup>, BADOT Pierre-Marie<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMR 6249 Chrono-Environnement CNRS – Université de Franche-Comté, 16 route de Gray 25030 Besançon, eric.lucot@univ-fcomte.fr

<sup>2</sup> Institut pour le développement forestier – CNPF – Agence d'Orléans, 13 avenue des Droits de l'Homme 45921 Orléans CEDEX 9

### **1. Introduction**

Les caractéristiques morphologiques des sols hydromorphes permettent un diagnostic robuste des horizons concernés par l'engorgement (ou ennoyage) et de l'intensité du déficit en oxygène (Baize et Jabiol 2011). Ce diagnostic est utilisé notamment pour évaluer l'intensité de la contrainte représentée par l'engorgement et ses conséquences sur les systèmes racinaires. Le diagnostic "zone humide" défini dans l'arrêté de 2009 est aussi basé en première approche sur l'abondance des taches d'oxydation et de réduction (MDDE GIS SOL 2013). Le régime de l'engorgement est caractérisé par les oscillations de la nappe et son temps de séjours. Il se traduit par des épisodes d'hypoxie plus ou moins sévères allant jusqu'à l'anoxie, qui laissent leur empreinte sur la morphologie du sol. Dans les sols à nappe temporaire, le lien entre la morphologie et la durée de présence de la nappe d'eau, ainsi que son oxygénation n'est pas aussi direct que dans les sols à nappe permanente. L'évaluation de l'intensité de la contrainte pour la végétation doit non seulement prendre en compte l'abondance et la profondeur des taches, mais aussi la période de l'année durant laquelle elle est présente (Levy et Lefèvre 2001, Jabiol *et al.* 2009). Des méthodes comme celle de Blavet *et al.* (2000) ou de Tassinari *et al.* (2002) ont été développées pour établir des relations entre les couleurs et les modalités d'engorgement, mais ces approches sont difficilement généralisables. Afin de mieux décrire le fonctionnement des sols à ennoyage temporaire et de mieux évaluer les contraintes pour la végétation, nous avons entrepris de préciser les modalités d'engorgement dans des sols forestiers par un suivi piézométrique quotidien durant plusieurs années dans des sols représentatif du massif de Chaux (Jura).

### **2. Contexte et méthodes**

Les 12 sols étudiés sont situés en forêt de Chaux (Jura). Le substrat géologique est constitué d'un cailloutis silicaté imperméable surmonté par un matériau argilo-limoneux lui-même recouvert par un dépôt limoneux. Les sols occupent les positions topographiques caractéristiques du massif : plateaux, pentes bordant les plateaux et vallons qui entaillent les plateaux où circulent des ruisseaux temporaires. Les sols sont majoritairement acides à nappe temporaire (Plaisance 1965, Bailly 1989). Les variations de la profondeur d'apparition de la nappe ont été suivies durant 3 à 5 ans grâce à des sondes piézométriques (Mini-Diver Schlumberger) avec un pas de temps de mesure de 12 heures.

### **3. Le fonctionnement piézométrique**

Les durées d'engorgement annuelles cumulées varient de 0 à 11 mois dans le premier mètre. Le sol où aucune période d'engorgement n'a été détectée présente des concrétions indurées. L'engorgement le plus long est mesuré dans un petit vallon marécageux en bordure de plateau. L'installation des nappes intervient entre octobre et décembre. Elles persistent jusqu'à mai

ou juillet. Le régime des précipitations influence fortement la durée d'engorgement, mais ce sont les conditions stationnelles qui déterminent les modalités de fluctuation du niveau de la nappe. Contrairement à ce qui est généralement admis, les sols à fragipan (plateau et bordure de plateau) présentent une nappe perchée qui apparaît dans les 50 premiers centimètres durant moins de 10 jours. Les nappes perchées sont présentes seulement en automne. Au début de la période de végétation en mars et avril (figure 1), les durées d'engorgement sont très différentes selon les situations topographiques.

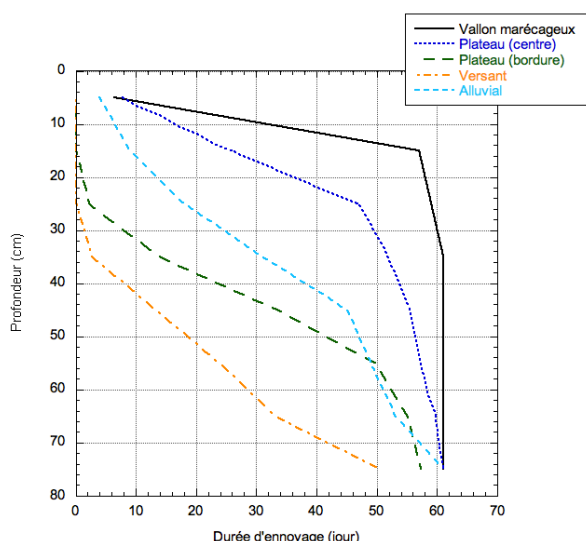


Figure 1. Durée d'engorgement cumulée moyenne entre le 1<sup>er</sup> mars et le 30 avril calculée pour les années 2009, 2010 et 2011.

#### 4. Conclusions

En dehors des sols dont l'hydromorphie consiste seulement en des concrétions ferromanganiques indurées, les traits d'hydromorphie sont fonctionnels malgré leur ancienneté. Les mesures quotidiennes permettent de suivre les oscillations rapides de la nappe dans les sols les plus perméables. La forte variation interannuelle de la lame d'eau précipitée justifie un suivi pluriannuel de la piézométrie. Des études sont en cours pour relier le fonctionnement piézométrique aux variations du potentiel d'oxydo-réduction et ses conséquences sur la mise en solution des oxyhydroxydes de Fe et de Mn et des éléments traces associés, notamment les terres rares.

Baize D., Jabiol B., 2011. *Guide pour la description des sols*. Ed. Quæ, 429 p.

Bailly G., 1989. *Catalogue des types de stations forestières du massif de Chaux*. Office National des Forêts, Dir. Rég. de Franche-Comté et Service Départemental du Jura, 233 p.

Blavet D., Mathe E., Leprun J.C., 2000. Relations between soil colour and waterlogging duration in a representative hillside of the West African granito-gneissic bedrock. *Catena*, 39, 187-210.

Jabiol B., Lévy G., Bonneau M., Brêthes A. 2009. *Comprendre les sols pour mieux gérer les forêts*. Ed. AgroParisTech, 624 p.

Levy G., Lefèvre Y., 2001. *La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire*. ENGREF, 223 p.

MEDDE, GIS Sol, 2013. *Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides*. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, GIS Sol, 63 p.

Plaisance G., 1965. Les sols à marbrures de la forêt de Chaux (Jura). *Ann. Sci. For.* 22, 4, 449-676.

Tassinari C., Lagacherie P., Bouzigues R., Legros J.P., 2002. Estimating soil water saturation from morphological soil indicators in a pedologically contrasted Mediterranean region. *Geoderma*, 108, 225-235.

## **Approche géostatistique pour l'identification des échelles spécifiques de dépendance spatiale**

**BOURENNANE Hocine<sup>1</sup>, GENERE Valentin<sup>1</sup>, CHARTIN Caroline<sup>2</sup>, Hirschberger Florent<sup>2</sup>, Salvador-Blanes Sébastien<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> INRA, UR0272 Unité de Science du Sol, 2163 Avenue de la Pomme de Pin CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France

<sup>2</sup> Université François-Rabelais de Tours, EA 6293 GéHCO, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, F-37200 Tours, France

### **Objectif et méthode**

Ce travail examine : (i) comment les corrélations spatiales entre une variable du sol et les attributs topographiques peuvent être améliorées en mettant l'accent sur les relations entre ces deux types d'information à des échelles spatiales spécifiques ; (ii) l'effet des sources des attributs topographiques utilisées comme variables explicatives pour la modélisation de la variable considérée ; (iii) la possibilité de l'extrapolation du modèle pour la cartographie au-delà de la zone où il a été établi.

Pour cela, sur une zone située dans le sud-ouest du bassin parisien, nous avons décomposé l'information contenue dans quatre attributs topographiques et l'épaisseur du sol (ST) en un bruit, une information structurée à courte distance et une autre information structurée à longue distance en utilisant l'analyse factorielle krigéante (FKA). Puis, nous avons construit des modèles de prédiction de ST en appliquant une régression par les moindres carrés partiels (PLSR) non seulement aux données brutes mais aussi à leurs décompositions obtenues à l'étape précédente.

### **Résultats**

Les coefficients des corrélations structurelles résultant de la FKA montrent de fortes corrélations entre les variables. Ces corrélations qui changent en fonction de l'échelle spatiale ne sont pas révélées par des coefficients de corrélations linéaires.

Les vecteurs propres résultant des analyses en composantes principales réalisées sur la structure à courte distance et la structure à longue distance du modèle linéaire de corégionalisation permettent de déduire ST et les attributs topographiques considérés à deux échelles spatiales sur la zone d'étude.

Des modèles donnant ST en fonction des attributs topographiques sont construits par PLSR. Les résultats montrent que les modèles construits en utilisant des variables inférées à une échelle spécifique permettent d'effectuer une meilleure prédiction de la variable cible par rapport aux modèles construits à l'aide des données brutes.

Les mesures des performances des modèles sur la base d'un jeu de donnée de validation ont montré que le modèle basé sur la structure à courte distance (MS) permet une meilleure prédiction de ST par rapport au modèle basé sur la structure à longue distance (ML).

L'effet sources des attributs topographiques utilisés comme variables explicatives pour la modélisation de ST apparaît moins important que l'effet modèle (MS ou ML) pour la cartographie. En outre, les résultats de l'extrapolation de MS au-delà de la zone où il a été établi sont très satisfaisants.

### **Conclusions**

Le processus de décomposition utilisé associée à une approche de modélisation comme la PLSR qui tient compte des colinéarités entre les variables prédictives conduit à des modèles performants pour la prédiction.

Les résultats de ce travail ont des implications importantes en termes de modélisation des propriétés du sol en fonction d'attributs topographiques et en termes de généralisation spatiale d'un modèle établi sur une petite surface à une grande surface.

Nos résultats suggèrent qu'en présence de modèles de variogramme imbriqués il faut voir si la corrélation entre la variable d'intérêt et l'information auxiliaire pourrait être améliorée en filtrant certaines des structures spatiales à l'aide du krigeage factoriel. Ce dernier associé à une approche appropriée de modélisation dans le cas de colinéarités entre les variables prédictives conduit à des modèles appropriés pour la prédiction et la généralisation spatiale d'un modèle établi localement.

## **Approche robuste pour déterminer le nombre de sondages nécessaire à l'estimation de la valeur moyenne de la RU à l'échelle parcellaire**

GENERE Valentin, BOURENNANE Hocine, PASQUIER Catherine, LE LAY Christian, LALOUA Didier, COUSIN Isabelle

Unité de Recherche de Science du Sol, INRA, centre Val de Loire, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 ARDON.

### **Introduction**

Ce travail avait pour objectif de déterminer le nombre de sondages nécessaires pour l'estimation de la valeur moyenne du réservoir en eau des sols utilisable par les plantes (RU) à l'échelle parcellaire par deux méthodes d'échantillonnages. L'une d'elles fait appel à une covariable en lien avec le RU. La précision associée à l'estimation du RU moyen de la parcelle par chacune des deux approches d'échantillonnages a été retenue comme critère de comparaison.

### **Matériel et méthodes**

Le site d'étude est situé en petite Beauce (France) et s'étend sur 9 ha. Une fosse pédologique a été ouverte et trois horizons ont été identifiés. Pour chacun d'eux, en utilisant des presses à plaque, on a déterminé les teneurs en eau aux pF 2 et 4,2 qui correspondent respectivement aux teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent. Pour chaque horizon, le RU par centimètre de sol a été calculé par la différence entre ces deux valeurs.

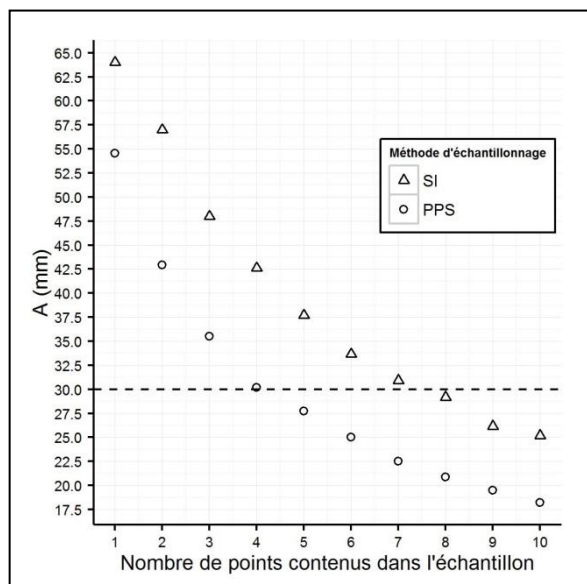
Une grille carrée de maille 40 mètres a été placée de manière aléatoire sur le site. A chacun de ses 47 nœuds un sondage a été réalisé jusqu'à 1 m de profondeur et les épaisseurs des différents horizons ont été mesurées. Pour chaque sondage, une valeur de RU a finalement été estimée en sommant les produits des épaisseurs des horizons avec les valeurs de RU par centimètre calculées pour le même type d'horizon au niveau de la fosse. Par ailleurs, à l'emplacement de chaque nœud de la grille une valeur de résistivité électrique apparente du premier mètre de sol a été mesurée. Finalement, nous avons obtenu 47 points répartis de manière régulière sur le site chacun d'eux étant associé à une estimation de RU et à une mesure de la résistivité électrique du sol.

Parmi ces 47 points, nous en avons sélectionné 10 de manière aléatoire chaque point ayant la même probabilité d'être choisi. Il s'agit d'un échantillonnage aléatoire simple qu'on notera SI. Ainsi le RU moyen estimé du site est la moyenne du RU estimé pour ces 10 points. Nous avons renouvelé l'opération jusqu'à obtenir 10000 estimations du RU moyen du site à partir de cette méthode d'échantillonnage. L'amplitude de l'intervalle contenant 95% de ces estimations est ensuite déduite on la note A, elle est exprimée en millimètres. En utilisant la même méthode d'échantillonnage, on déduit les neuf valeurs présent par A lorsque l'on fait varier le nombre de points sélectionnés de 1 à 9.

De la même manière, on a déduit les dix valeurs de A pour une autre méthode d'échantillonnage et pour des échantillons contenant 1 à 10 points. La méthode d'échantillonnage notée PPS (Probabilities Proportional to Size) consiste à choisir aléatoirement les sondages avec une probabilité proportionnelle à une covariable liée au RU.

Ici nous avons choisi d'utiliser l'inverse du logarithme de la résistivité électrique mesurée au droit de chaque sondage comme covariable. Les deux méthodes d'échantillonnages ont été réalisées en utilisant le package "sampling" (Tillé and Matei, 2013) sous le logiciel R (R Core Team, 2013).

## Résultats



Variation de A en fonction de la méthode d'échantillonnage et du nombre de points sélectionnés

L'ensemble des 47 sondages présente un RU moyen de 127,9 mm avec un écart-type de 4,8 mm.

La figure 1 représente les valeurs de A obtenues pour les deux méthodes d'échantillonnages (SI et PPS) en fonction du nombre de points composant l'échantillon. Une valeur de A faible indique que la méthode est précise et inversement. Ainsi, on constate que quel que soit le nombre de points pris en compte dans l'estimation du RU moyen, la méthode d'échantillonnage PPS s'appuyant sur la résistivité électrique du sol est plus précise qu'un échantillonnage aléatoire simple sans prise en compte d'une covariable.

Pour ce site la quantité d'eau apportée lors d'un tour d'eau usuel est de 30 mm. On considère

alors que dans ce contexte la valeur moyenne du RU est précise si A est inférieur à 30 mm. (95% des estimations soient comprises dans un intervalle inférieur à 30 mm) (Selon ce critère, 5 points suffisent à obtenir une estimation de la valeur moyenne du RU suffisamment précise pour la méthode d'échantillonnage PPS alors que 8 points sont nécessaires dans le cas du SI. D'autres méthodes d'échantillonnages s'appuyant sur la résistivité électrique comme covariable ont été employées et ont produit des résultats similaires au PPS.

## Conclusion

En présence d'une covariable dont les variations sont proportionnelles à une variable d'intérêt dont on souhaite inférer la valeur moyenne à l'échelle parcellaire, ce travail suggère l'emploi d'une stratégie d'échantillonnage faisant appel à cette covariable telle que le PPS afin d'améliorer la précision de l'estimation produite.

## Remerciements

Merci à la Région Centre et au FEDER (Fonds Européen de Développement Régional) pour le financement de ces travaux dans le cadre du projet Aquateam des Fonds Unique Interministériel (FUI).

## Références

R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.  
Tillé Y. and Matei A. 2013. sampling: Survey Sampling. R package version 2.6. <http://CRAN.R-project.org/package=sampling>.



## **Etude méthodologique de l'impact des incertitudes liées à l'estimation spatialisée des paramètres sols du modèle Stics à partir de la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000**

**LE BAS Christine<sup>1</sup>, COQUET Yves<sup>2</sup>, BARDY Marion<sup>1</sup>, FAIVRE Robert<sup>3</sup>, GUERIF Martine<sup>4</sup>, HABETS Florence<sup>5</sup>, BUIS Samuel<sup>4</sup> et COUSIN Isabelle<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> : US1106 Infosol, INRA, 2163 avenue de la pomme de pin, CS 40001, 45075 Orléans Cedex 2, Christine.Le-Bas@orleans.inra.fr, marion.bardy@orleans.inra.fr

<sup>2</sup> : UMR7327 ISTO, Université d'Orléans, CNRS/INSU, BRGM, 45071 Orléans, France, Yves.Coquet@univ-orleans.fr

<sup>3</sup> : UR875 MIAT, INRA, 24 Chemin de Borde Rouge, Auzeville, CS 52627, 31326 Castanet Tolosan cedex, Robert.Faivre@toulouse.inra.fr

<sup>4</sup> : UMR114 EMMAH, INRA, Domaine Saint Paul - Site Agroparc, 84914 AVIGNON Cedex 9, martine.guerif@avignon.inra.fr, Samuel.Buis@avignon.inra.fr

<sup>5</sup> : UMR7619 Métis, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 5, Florence.Habets@upmc.fr

<sup>6</sup> : UR272 Sol, INRA, 2163 avenue de la pomme de pin, CS 40001, 45075 Orléans Cedex 2, Isabelle.Cousin@orleans.inra.fr

Les sols sont au cœur de nombreuses problématiques environnementales en raison de leur rôle d'interface entre l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Pour répondre à ces problématiques sur de vastes territoires, l'utilisation conjointe de modèles et de bases de données sols spatialisées est de plus en plus courante. A l'échelle du territoire national ou de grands bassins versants, plusieurs projets ont utilisé la Base de Données Géographique des Sols de France à 1/1 000 000 (BDGSF) et le modèle de culture Stics (Donet *et al.*, 2001 ; Ledoux *et al.*, 2007 ; Godard *et al.*, 2008 ; Lefebvre, 2010). Leur utilisation conjointe a nécessité la mise au point de méthodes d'estimation des paramètres sols de Stics s'appuyant sur des fonctions ou des règles de pédotransfert adaptées aux données, essentiellement qualitatives, de la BDGSF (Le Bas *et al.*, 2005). Ces méthodes permettent :

- de transformer les données qualitatives de la BDGSF en données quantitatives : par exemple attribuer un taux d'argile à partir de la classe de texture de surface
- d'estimer certains paramètres non disponibles dans la BDGSF, soit par dires d'expert, soit par fonctions de pédotransfert
- de gérer les données manquantes ou les incohérences dans les données.

Par ailleurs, l'évolution du modèle Stics (Brisson *et al.*, 1998) entraîne une augmentation du nombre de paramètres sols à estimer, avec des paramètres non disponibles dans les bases de données pédologiques. A l'échelle parcellaire, la calibration sur des données mesurées permet d'estimer en grande partie ces paramètres mais cela est impossible dès lors que l'on veut spatialiser le modèle sur de vastes territoires.

Afin de déterminer les paramètres sols du modèle Stics indispensables à être définis avec précision et ceux dont la précision n'influe que très peu sur les sorties du modèle, notre démarche méthodologique va consister dans l'analyse de la sensibilité du modèle Stics aux incertitudes sur les données d'entrée et leur propagation via les fonctions et les règles de pédotransfert (Saltelli *et al.*, 2000, Faivre *et al.*, 2013). Plus précisément, nous focaliserons notre attention sur les incertitudes sur les paramètres sols de Stics issus de la BDGSF et leur impact sur les variables de Stics en sortie du bilan hydrique (teneur en eau du sol, quantité cumulée d'eau drainée, etc.) et sur le rendement.

Deux types d'incertitude seront étudiés :

- celles issues de la BDGSF en utilisant par exemple les bornes des classes de profondeur ou les champs décrivant la variabilité interne des types de sol (par exemple texture secondaire).
- celles obtenues par l'étude de profils de sol issus de la base de données Donesol (Grolleau *et al.*, 2004) et collectés dans le cadre du programme national Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (Arrouays *et al.*, 2004).

Cette démarche sera établie sur une zone test, la région Centre avec plusieurs configurations : climat sec et climat humide ; sol nu, prairie et blé tendre d'hiver. Elle sera réalisée à l'aide de la plate-forme de modélisation Record (Bergez *et al.*, 2012).

## Références

- Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D., Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des Sols*, 11(3), 187-198.
- Bergez J.-E., Chabrier P., Gary C., Jeuffroy M.H., Makowski D., Quesnel G., Ramat E., Raynal, N. Rousse, D. Wallach, P. Debaeke, P. Durand, M. Duru, J. Dury, P. Faverdin, C. Gascuel-Oudoux H., Garcia F., 2012 - An open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems, *Environmental Modelling & Software*, 39, 39-49.
- Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Nicoulaud B., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Mchet J.M., Meynard J.M., Delécolle R., 1998 - STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, 311-346
- Donet I., Le Bas C., Ruget F., Rabaud V., 2001. Informations et Suivi Objectif des Prairies. Guide d'utilisation. AGRESTE, *Chiffres et Données*, 134, 55 p.
- Faivre R., Looss B., Mahévas S., Makowski D., Monod H., (Eds), 2013. Analyse de sensibilité et exploration de modèles. Applications aux modèles environnementaux. Collection « Savoir Faire », Quae, Versailles, 352 p.
- Godard C., Roger-Estrade J., Jayet P.-A., Brisson N., Le Bas C., 2008 - Use of available information at a European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the EU. *Agricultural Systems*, 97(1-2), 68-82.
- Grolleau E., Bargeot L., Chafchafi A., Hardy R., Doux J., Beaudou A., Le Martret H., Lacassin J.-C., Fort J.-L., Falipou P., Arrouays D., 2004 - Le système d'information national sur les données pédologiques spatialisées : DONESOL et les outils associés. *Étude et Gestion des Sols*, 11(3), 255-269.
- Le Bas, C., King, D., Daroussin, J., Arrouays, D., 2005. Estimation des paramètres sols pour STICS à partir d'une base de données spatialisées sur les sols à petite échelle. Séminaire Stics, Carry-le-Rouet, France.
- Ledoux E., Gomez E., Monget J.M., Viavattene C., Viennot P., Ducharme A., Benoit M., Mignolet C., Schott C., Mary B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of The Total Environment*, 375 (1-3), 33-47
- Lefebvre M.-P., 2010. Spatialisation de modèles de fonctionnement hydromécanique des sols appliquée à la prévision des risques de tassement à l'échelle de la France. Thèse de l'Université d'Orléans. Inra, UR Sols et Infosol, Orléans, France. 294 pages.
- Saltelli A., Chan K., Scott E.M., (Eds.), 2000. Sensitivity analysis, Wiley, New York, 504 p.

## Modélisation en 3D de la structure d'un sol : Analyse de sensibilité et évaluation de l'approche APSF

AMEUR Amina<sup>1</sup>, LEGUEDOIS Sophie<sup>1</sup>, MARILLEAU Nicolas<sup>2</sup>,  
BREDECHE Nicolas<sup>3,4</sup>, WATTEAU Françoise<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire Sols et Environnement (LSE), UMR INRA 1120, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France, [amina.ameur@univ-lorraine.fr](mailto:amina.ameur@univ-lorraine.fr), [sophie.leguedois@univ-lorraine.fr](mailto:sophie.leguedois@univ-lorraine.fr)

<sup>2</sup> : UMI 209 UMMISCO, IRD, 32 Avenue Henri Varagnat, 93140 Bondy, France, [nicolas.marilleau@ird.fr](mailto:nicolas.marilleau@ird.fr)

<sup>3</sup> : Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 06, UMR 7222, ISIR, F-75005, Paris, France, [nicolas.bredeche@upmc.fr](mailto:nicolas.bredeche@upmc.fr)

<sup>4</sup> : CNRS, UMR 7222, ISIR, F-75005, Paris, France, [nicolas.bredeche@upmc.fr](mailto:nicolas.bredeche@upmc.fr)

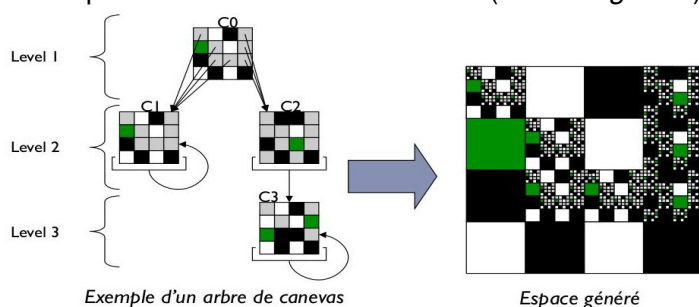
<sup>5</sup> : UMS CNRS 3562, 15 rue Notre-Dame des Pauvres BP 20, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France, [francoise.watteau@univ-lorraine.fr](mailto:francoise.watteau@univ-lorraine.fr)

### Introduction

La reconstitution virtuelle de la structure d'un sol donné, pour une large gamme de sols, représente un enjeu important en pédologie. C'est notamment le cas pour les Technosols construits que nous considérons comme des modèles de sols anthropisés et qui sont constitués initialement de matériaux technogéniques disposés en couches successives (Séré *et al.*, 2008). Ainsi, une représentation virtuelle explicite pertinente doit être capable, d'abord, de reproduire en 3D la structure d'un sol à un instant donné, puis d'intégrer les processus biotiques et abiotiques en modifiant cette même structure suivant son évolution dans le temps. Cela permet, par exemple, de simuler l'évolution de la structure d'un sol donné, à court ou à long terme, sous l'effet de l'activité des vers de terre (Blanchart *et al.*, 2009), des transferts hydriques ou du développement racinaire. Nous nous intéressons plus particulièrement aux Technosols construits, car il y a de surcroît un intérêt scientifique à pouvoir reconstituer et prédire l'évolution de leur structure à partir de l'état initial  $t_0$  dans le but de préciser l'impact de la formulation de ces sols sur leurs propriétés physico-chimiques.

### Modélisation de la structure du sol par l'APSF

Plusieurs travaux s'accordent à comparer la géométrie d'un sol donné à une structure hiérarchique fractale (Baveye *et al.*, 1998 ; Bird *et al.*, 2003). Cette hypothèse permet, tout d'abord, d'analyser et de caractériser l'hétérogénéité et la complexité d'une telle structure. Dans ce sens, l'approche APSF (Arborescence Pores Solides Fractals), proposée par Marilleau *et al.* (2008), consiste à modéliser un cube de sol pour une représentation synthétique de sa structure sous la forme d'un arbre composé de plusieurs possibilités de motifs appelés les canevas (arbre de canevas). A chaque niveau d'échelle, définissant une fraction granulométrique choisie, l'APSF génère une répartition spatiale des différentes particules et des pores de la taille correspondante ainsi que les volumes fractals qui seront décomposés aux échelles inférieures (voir la *Figure 1*).



**Figure 1** : Coupe en 2D d'une structure de sol avec l'APSF en 3D qui génère un arbre de canevas suivant plusieurs niveaux échelles avec une répartition spatiale de la matière organique (en vert), de matière minérale (en blanc), des pores (en noir) et des parties fractales (en gris)

Notre travail de recherche consiste à évaluer et à améliorer cette approche pour que la structure virtuelle générée en 3D représente au mieux la structure réelle d'un sol. La problématique qui se pose est la suivante : comment la méthode APSF peut-elle quantifier la distribution taille-nombre des particules et des pores d'un sol virtuel à partir d'un sol réel? Cela revient à s'interroger, d'une part, sur les paramètres clés du modèle pour lesquels l'optimisation des valeurs permettrait de mieux calibrer le modèle de simulation et d'autre part sur l'évaluation des niveaux d'incertitude et de sensibilité de l'APSF qui résultent de l'incertitude des variables aléatoires de notre modèle. Ainsi, nous concevons et développons un démonstrateur qui intègre l'approche APSF indépendamment du code de SWORM (Blanchart *et al.*, 2009). Cet outil nous permettra de réaliser une analyse de sensibilité et d'incertitude (les résultats seront discutés dans le poster).

### **Analyse de sensibilité et approche de calibration du modèle**

La description spatiale de la structure du Technosol construit engendre la prise en compte de variables comme la distribution de la taille et du nombre de pores et d'agrégats, leurs proportions volumiques, l'indice de forme des particules et l'indice de connectivité du réseau poral (Jangorzo *et al.*, 2013). L'analyse de sensibilité (AS) est un outil très précieux dans l'évaluation de la pertinence et de la stabilité d'un tel modèle (Saltelli *et al.*, 1999). Dans le cadre de l'APSF, cette approche permet de déterminer et de hiérarchiser les différents paramètres suivant leur influence sur la structure finale obtenue. Ainsi, pour améliorer le modèle, il est possible de donner plus d'informations sur les caractéristiques du sol au départ en y introduisant de nouvelles variables d'entrée. La validation de l'APSF nécessite de recourir à un processus d'optimisation pour mieux calibrer les modèles, par exemple en utilisant une approche d'optimisation bayésienne (Kennedy & O'Hagan *et al.*, 2001). Ce processus d'optimisation permet de calibrer, c'est à dire d'ajuster, les paramètres libres du modèle comme les proportions volumiques de matière organique, de matière minérale et des pores pour chaque niveau d'échelle. L'estimation de ces paramètres nécessite l'utilisation de données expérimentales disponibles : analyse d'images en 2D (Jangorzo, 2013) et tomographie à rayons X en 3D (Pey, 2010).

### **Références**

- Baveye**, P. & Boast, C. (1998). *Concepts of "fractal" in soil science : demixing apples and oranges*, Soil Science Society of America Journal 62 : {1469-1470}.
- Bird**, N. & Perrier, E. (2003). *The pore-solid fractal model of soil density scaling*, Eur. J. Soil Sci.54 : {467-476}.
- Blanchart**, E., Marilleau, N., Chotte, J. L., Drogoul, A., Perrier, E. & Cambier, C. (2009). *SWORM: an agent-based model to simulate the effect of earthworms on soil structure*, Eur. J. Soil Sci.60 : {13-21}.
- 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}.
- Jangorzo**, N. S. (2013) Quantification du processus d'agrégation dans les Technosols. Thèse, Sciences agronomiques, Université de Lorraine.
- Kennedy**, M. & O'Hagan, A. (2001). *Bayesian calibration of computer models*, J. R. Stat. Soc.63 : {425-450}.
- Marilleau**, N., Cambier, C., Drogoul, A., Chotte, J. L., Perrier, E. & Blanchart, E. (2008). *Multiscale MAS modelling to simulate the soil environment: Application to soil ecology*, SIMUL MODEL PRACT TH : {736-745}.
- Pey**, B. (2010), Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des Technosols. Thèse, Sciences agronomiques, INPL.
- Saltelli**, A., Tarantola, S. & Chan, K. (1999). *A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output*, Technometrics 41 : {39-56}.
- Séré**, G., Schwartz, C., Ouvrard, S., Sauvage, C., Renat, J-C. & Morel, J. L. (2008). *Soil construction: A step for ecological reclamation of derelict lands*, J. Soils Sediments 8 : {130-136}

## CREATION D'UNE BASE DE DONNEES SPATIALE SUR LES SOLS DU SAHARA D'ALGERIE. ÉVALUATION DE DIVERS SCENARIOS EN VU D'AIDE A LA PRISE DE DECISION.

Ismail Berkal <sup>A-B</sup>, Kaddour Djili <sup>B</sup>, Idder Abdelhak <sup>A</sup>, Idder Tahar <sup>A</sup>

[berkal.is@univ-ouargla.dz](mailto:berkal.is@univ-ouargla.dz)

A Université Kasdi Merbah - Ouargla (Algérie). PB 511, Route de Ghardaïa, Ouargla 30000 (Algérie), Laboratoire de Recherche sur la Phœniciculture

B Ecole Nationale Supérieure Agronomique –Alger (ENSA ex. I.N.A, Alger), Hassen Badi El Harrach 16051 (Algérie)

### Résumé

Ce travail a porté sur la constitution d'une base de données relative aux sols des régions sahariennes dans laquelle sont compilés 628 profils types.

L'analyse de 2428 horizons décrits et 1990 analysés a révélé que ces études ne sont pas toujours menées selon une démarche et des normes reconnues. Ainsi, il s'avère que l'information pédologique n'est pas toujours renseignée. En effet, seuls environ 20 % des variables descriptives ou analytiques sont renseignées à plus de 70 %. Ce résultat signifie qu'il y aurait une déperdition de l'information pédologique. Les tests de fiabilité entre quelques variables pédologiques prises deux à deux ont révélé que leur concordance varie entre 26 % et 97 % selon le couple considéré. Ce résultat à lui seul traduit l'absence d'un contrôle rigoureux des données lors de la réalisation des études pédologiques.

L'étude de cinq paramètres pédologiques (argile, calcaire, gypse, matière organique et CE) dans trois catégories d'horizons (H1, H2 et Hp), d'abord à l'échelle du Sahara (base de données), ensuite à l'échelle des zones et enfin à l'échelle des régions a montré que les sols sahariens sont pas ou très peu argileux (plus de 50 % des horizons), peu calcaire dans leur majorité (39 % des horizons contiennent moins de 10 % de calcaire), peu gypseux (plus de 50 % des horizons étudiés contiennent moins de 3 % de gypse.) et peu organique (90 %). En revanche, ils sont pour la plupart très fortement salés avec une préférence pour l'horizon de surface dans 50 % de cas.

Enfin, les calculs ont montré que chacun de ces paramètres varie plus au moins fortement dans l'espace et dans le profil.

Le troisième volet de ce travail a porté sur la recherche de relations éventuelles entre les paramètres étudiés. Les principaux résultats se résument comme suit :

- D'une façon générale, quand le taux de calcaire augmente dans le sol, les taux d'argile ont tendance à diminuer. Cependant, on peut rencontrer des sols qui sont argileux mais peu calcaires, ou au contraire très calcaires et peu argileux.
- Les sols calcaires sont généralement peu gypseux. De même les sols gypseux sont peu calcaires.
- La relation entre le taux de gypse et le taux d'argile est négative et statistiquement hautement significative.
- L'augmentation des taux de gypse s'accompagne par une diminution de la CE.
- L'augmentation des taux de calcaire au-delà de 30 % s'accompagne par une diminution de la CE.

**Mots clés :** Sahara, argile, calcaire, gypse, MO, CE, corrélations.

## **Influence des vers de terre, des plantes et de la proportion de matière organique sur les propriétés physiques d'un technosol**

**DEEB Maha<sup>1,2</sup>, PANDO Anne<sup>2</sup>, LERCH Thomas<sup>1</sup>, BLOUIN Manuel<sup>1</sup>,  
PODWOJEWSKI Pascal<sup>3</sup>, GRIMALDI Michel<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: IEES Paris, UPEC, équipe BioDis, blouin@u-pec.fr, thomas.lerch@u-pec.fr

<sup>2</sup>: IEES Paris, IRD, équipe BioDis, maha.deeb@ird.fr, Anne.Pando@ird.fr

<sup>3</sup>: IEES Paris, IRD, équipe BioPhys, pascal.podwojewski@ird.fr,  
michel.grimaldi@ird.fr

Pour répondre à la demande sociétale croissante en jardins, trames vertes et toitures végétalisées, la création de technosols à partir de déchets organiques et minéraux est une alternative à la perte de sols agricoles fertiles au profit des espaces urbanisés. Ces technosols peuvent en outre satisfaire à plusieurs exigences économiques et écologiques d'un développement durable, par la réduction des coûts et des pollutions occasionnés par le transport et le stockage de déchets urbains, et par la valorisation de ces derniers.

Dans cette étude, nous analysons les propriétés de retrait et de rétention de l'eau d'un matériau minéral mélangé en proportions variables à un compost de déchet vert. Nous cherchons à répondre aux questions suivantes : (1) comment varient les propriétés physiques d'un technosol, aussitôt après réalisation du mélange, en fonction du taux de matière organique ? (2) Les propriétés du mélange sont-elles ou non additives ? (3) Ces propriétés sont-elles modifiées par la présence ou non de plantes et/ou de vers de terre ?

Le matériau minéral utilisé est un remblai provenant d'horizons profonds excavés pour des constructions urbaines du bassin parisien. Riche en carbonates et très pauvre en matières organiques, ce matériau a été broyé, tamisé (<4mm) et homogénéisé, avant d'être mélangé à un compost de déchets verts. Cinq mélanges ont été réalisés avec les proportions volumiques de compost de 10, 20, 30, 40 et 50%.

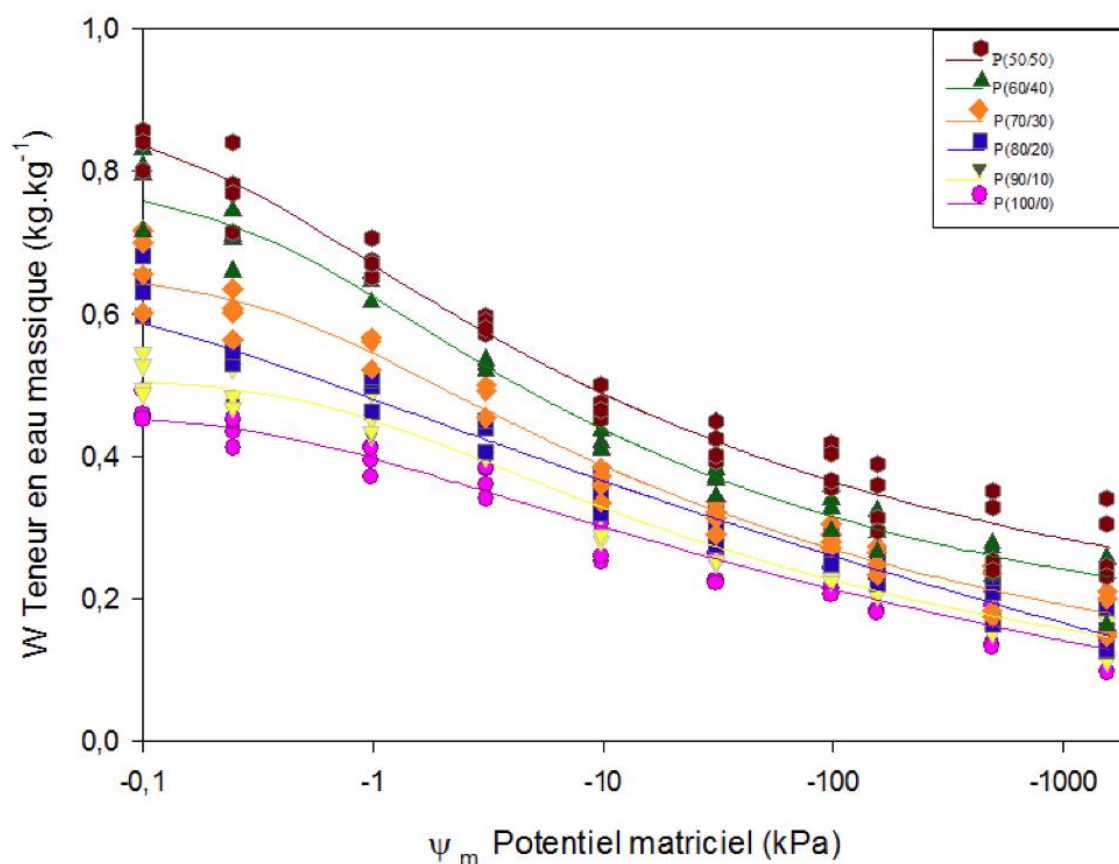
Les analyses suivantes ont été réalisées avant et après une incubation de 5 mois en phytotrons (T22/20°C jour/nuit un taux d'humidité de l'air à 75%) avec ou sans plantes (*Lolium perenne*) et/ou vers de terre (*Aporrectodea caliginosa*). Les propriétés chimiques (pH, CEC, C et N totaux, carbonates, P Olsen, K échangeable,) et physiques (granulométrie et masse volumique de solide) du matériau minéral et du compost ont été mesurées. Les courbes de désorption de l'eau et de retrait ont été déterminées pour le remblai pur et les cinq mélanges, sur des échantillons cylindriques d'une centaine de cm<sup>3</sup>, avec 4 répétitions pour chacune des mesures. Les courbes de désorption sont obtenues par équilibres successifs à différentes valeurs de potentiel matriciel à l'aide d'une table à sable (pF≤2) et de presses de Richards (2<pF≤4,2), les courbes de retrait ont été établies en continu à l'aide d'un rétractomètre. L'additivité des propriétés a été testée à l'aide de modèles linéaires.

Les résultats obtenus sur les mélanges initiaux montrent que les propriétés chimiques sont additives, sauf pour le pH dont la valeur variait entre 8,25 (pour le remblai pur) et 7,9 (pour le compost).

Ainsi, les propriétés chimiques suivantes évoluent de manière additive :

- Azote Total : de 0,035% pour le remblai, à 0,295% pour le mélange (R50, C50).
- Carbone Total : de 8,1% pour le remblai, à 10,75% pour le mélange (R50, C50).
- Capacité d'échange cationique (CEC): de 30,25  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour le remblai, à 127  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour le mélange (R50, C50).
- Phosphore disponible (Polisen) : de 0,02  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour le remblai, à 0,19  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pour le mélange (R50, C50).
- $\text{K}_2\text{O}$  disponible : de 0,23g pour le remblai, à 3,45g pour le mélange (R50, C50).

Concernant les propriétés physiques, il reste encore à comparer la mesure de rétention de l'eau (graphique 1) et la mesure de rétractométrie, qui sont en cours.



(Graphique 1) *Courbes de désorption d'eau des différents mélanges. Ajustement des mesures au modèle de Van Genuchten*

## **Etude de la répartition de la matière organique sur quelques types de sols de la forêt de beni -ghobri (Algérie).approche pour une définition des types d'humus.**

MERROUKI Kamal, LALAMI Kahina , Lechani Lynda

Faculté des sciences biologiques et des sciences Agronomiques.  
Université de Tizi Ouzou(Algérie),

[merrouki\\_k@yahoo.fr](mailto:merrouki_k@yahoo.fr)

### Résumé

La forêt de Beni-Ghobri est une région écologique assez du point de vue climatique, mais offrant divers variantes liées aux conditions situationnelles (relief, exposition, altitude et substrat géologique) et a la végétation arborée a dominance chêne liège et chêne zeen.

Dans le cadre de la connaissance de cette région, nombreux travaux ont été réalisés, pour mettre en évidence les relations entre la végétation et le milieu et la dynamique des éléments dans le sol.

Ceci nous a amené à étudier les différents types d'humus de cette région, car jusqu' a ce jour aucune étude n'a été faite dans ce sens.

Nous avons tenté une approche, afin de mettre en relief les principaux facteurs intervenant dans leur formation et différenciation .Pour cela après une recherche bibliographique, une étude morphologique et un échantillonnage du sol sur cinq stations forestières réparties dans les principaux massifs forestiers de la région.

Les résultats obtenus dans cette étude ont révélés que les types d'humus formés dans cette région sont non hydromorphes, car les conditions écopédologique ne sont pas favorables à la formation de ce type d'humus.

La plupart de humus trouvés sont du types mull, leurs formation a été conditionnée d'une part, par un ensemble de processus pédoclimatique favorable (température optimale, aération ; humidité) est d'autre part la nature de la végétation. La biodégradation des graminées dans le sol libère une quantité appréciable d'azote et d'éléments minéraux qui maintiennent un pH relativement élevé, de même que la chênaie exerce une action acidifiante limitée contrairement aux résineux.

MOTS CLES ; foret, humus, mull, mull eutrophe, moder.



## Exploration de la voie oxalate-carbonate à Madagascar : Applications et Perspectives

RANDEVOSON Finaritra<sup>1</sup>, RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina<sup>1,2</sup>, RAJOELISON Gabrielle<sup>3</sup>, ANDRIAMPIOLAZANA Manony<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Département des Eaux et Forêts, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Ankatso, [finaritraran@gmail.com](mailto:finaritraran@gmail.com);

<sup>2</sup>: Unité « Sols et Changement Climatique », Laboratoire des Radiosotopes, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro, [razakamanarivo@gmail.com](mailto:razakamanarivo@gmail.com)

<sup>3</sup>: Unité de Formation et de Recherche en Sylviculture et Aménagement, Département des Eaux et Forêts, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Ankatso, [g.rajoelison@yahoo.fr](mailto:g.rajoelison@yahoo.fr)

### Introduction

La biominéralisation de la calcite dans les sols tropicaux ferrallitiques par la voie oxalate-carbonate a permis au stockage du carbone (C) atmosphérique dans le sol sous forme minérale entraînant l'alcalinisation du milieu (Aragno et al, 2010). La prise en considération : (i) des déterminants de l'occurrence du processus, (ii) des caractéristiques pédologiques et bioclimatiques malgaches, a abouti à l'étude exploratoire de cette voie dans la grande île. Les objectifs de ce travail étant de vérifier l'existence de la voie-oxalate carbonate à Madagascar et d'en évaluer le potentiel.

### Matériel et Méthodes

Le repérage des arbres oxalogènes, la détermination des espèces et l'identification des spécimens les plus intéressants ont constitué des préliminaires pour l'étude du processus (Verrecchia, 2009 in Jaccottet, 2009). Cette étude s'est basée sur la détermination des espèces à explorer et leurs localisations à travers une étude bibliographique et une étude cartographique de la végétation et des sols de Madagascar. En référence à la liste des espèces malgaches potentiellement oxalogènes, trois régions de la partie occidentale de l'île ont été fixées pour mener les travaux dont Majunga, Sakaraha et Morondava. La recherche s'est poursuivie par (i) le test de présence de calcaire avec l'acide chlorhydrique, (ii) la mesure du pH H<sub>2</sub>O et (iii) les prélèvements d'échantillons de biomasse (vivante et morte) et de sols sur 30 cm de profondeur au pied et à 5m de l'arbre oxalogène. Le calcul des stocks de carbone organique et la teneur en calcaire total du sol en laboratoire fait suite aux travaux de terrain.

### Résultats

#### Les espèces oxalogènes malgaches

Généralement étudiée sous des sols ferrallitiques tropicaux, les études préliminaires conduites cette fois-ci sur sols ferrugineux ont permis d'explorer une vingtaine d'espèces réparties dans les trois zones d'études. La détermination des espèces oxalogènes s'est alors traduite par la présence d'effervescence au test à l'acide chlorhydrique (HCl) tant au niveau de la biomasse qu'au niveau du sol et a abouti à l'identification de 8 espèces oxalogènes. Des Moracées (*Ficus sycomorus*, *Ficus polita*, *Ficus sp*), des Casuarinacées (*Casuarina cunninghamiana*, *Casuarina equisetifolia*), une Bombacacée (*Ceiba pentandra*), une Fabacée (*Tamarindus indica*) et une Euphorbiacée (*Antidesma petiolare*) ont été alors reconnues oxalogènes. Exceptée, *Ceiba pentandra*, le potentiel oxalogène de ces essences a été découvert pour la première fois à Madagascar.

#### Stock de carbone (SCO) et Stock de calcaire (SCaCO<sub>3</sub>) du sol

Il en résulte une gamme allant 42,32±22,6 à 261,77± 10,26 Mg.ha<sup>-1</sup> pour SCO et de 3,3 à 87,31±34,33 MgC.ha<sup>-1</sup> pour SCaCO<sub>3</sub>. L'espèce *Tamarindus indica* de Majunga enregistrant un stock de CaCO<sub>3</sub> le plus important (70,8±38 MgCaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>) et le plus grand stock de C (165, 8±87, 9 MgC.ha<sup>-1</sup>) semble être la plus biominéralisatrice des essences explorées.

L'accumulation de carbonates est également remarquable chez *Ceiba pentandra* de Morondava avec  $58,5 \pm 25,3 \text{ MgCaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . (Fig.1).

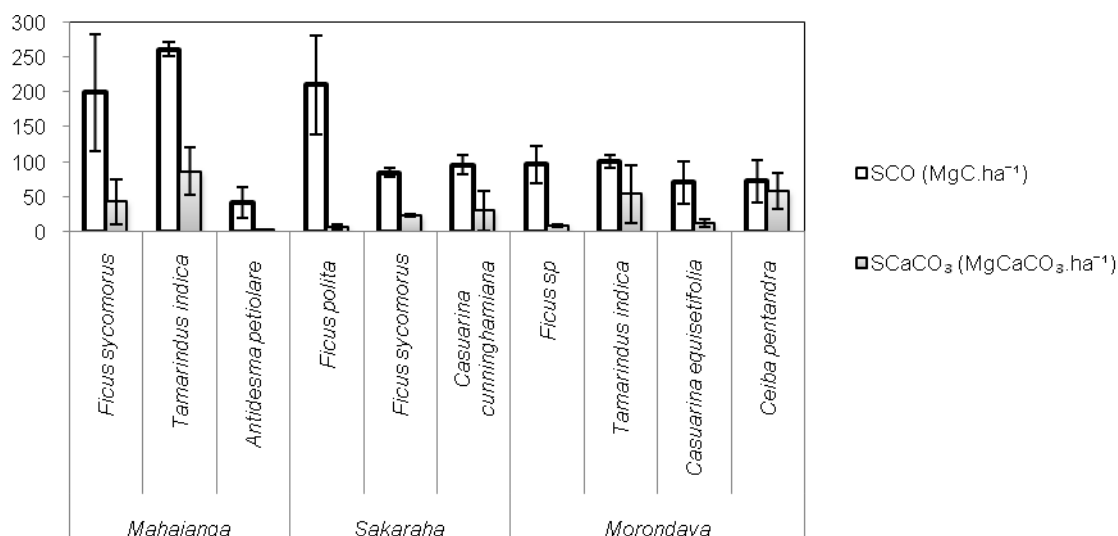


Fig.1 : Stock de carbone (MgC.ha<sup>-1</sup>) et Stock de calcaire (MgCaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>) par espèce et par région

### Discussions

Une même espèce trouvée dans deux localités différentes (exemples : *Ficus sycomorus* de Majunga et Sakaraha ; *Tamarindus indica* de Majunga et Morondava) ne présente pas les mêmes résultats (C, accumulation CaCO<sub>3</sub>) révélant l'influence des paramètres environnementaux sur l'efficacité du processus oxalate-carbonate.

Toutefois, avec une teneur en CaCO<sub>3</sub> de  $69,3 \pm 37,6 \text{ g/kg}$  pour *Tamarindus indica* ;  $39,4 \pm 37,01 \text{ g/kg}$  pour *Ceiba pentandra* et  $35,6 \pm 33,2 \text{ g/kg}$  pour *Ficus sycomorus* ; sur les 10 premiers centimètres du sol, le potentiel oxalogène des espèces malgaches reste relativement faible par rapport à l'Iroko (*Milicia excelsa*), l'espèce oxalogène de référence, atteignant les 700g/kg soit 70% (Braissant, 2005). Une différence qui pourrait être liée à l'âge de l'arbre se reflétant à travers ses dimensions (Iroko : 200 ans, de 170 cm de diamètre et de 28m de hauteur) ainsi qu'aux conditions pédologiques (sols ferrugineux pour Madagascar).

### Conclusion

Eu regard à un champ d'investigation assez restreint, il est possible d'affirmer que Madagascar a probablement un fort potentiel à explorer et à approfondir en termes d'espèces oxalogènes. De plus, de par l'amélioration de la fertilité du sol par la correction de l'acidité grâce à l'effet tampon des carbonates, l'existence de la voie oxalate-carbonate est importante pour Madagascar, compte tenu de sa vocation agricole avec ses sols acides singulièrement pauvres.

### Références bibliographiques

- Aragno M., Verrecchia E., Job D., Cailleau G., Braissant O., Khammar N., Katia F., Mota M., Guggiarl M. et Martin G., (2010). Calcium carbonate biomineralization in ferrallitic, tropical soils through the oxalate-carbonate pathway. Bulletin BGS 30.
- Braissant O. (2005). Carbonatogénèse bactérienne liée au cycle biogéochimique oxalate-carbonate. Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel. Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel pour l'obtention du grade de Docteur ès Science.
- Jacotet, A. 2009, Le caillou de l'Iroko pour lutter contre le CO<sub>2</sub>, 8 pages.

## **Comparaison de 3 méthodes d'estimation de la variance d'échantillonnage associée à des moyennes spatiales calculées à partir d'observations issues d'une grille systématique : Application aux données du réseau de mesures de la qualité des sols français**

**SABY N.P.A.<sup>1</sup>, BRUS D.J.<sup>2</sup>, BOUKIR H.<sup>1</sup>, ARROUAYS D.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> INRA, US1106, Unité Infosol, 45075 Orléans, France.

<sup>2</sup> Soil Science Centre, Wageningen University and Research Centre, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands.

L'importance du rôle des sols dans l'environnement et la nécessité de leur protection sont aujourd'hui reconnues par tous. Les Etats ont ainsi été poussés à développer des programmes de surveillance de la qualité de leurs sols. Ces programmes sont habituellement classés selon la stratégie d'échantillonnage sur laquelle reposent les observations (de Gruijter et al., 2006). Arrouays et al. (2012) signalent que les réseaux d'observations construits à cet effet ont tendance soit à employer une approche systématique comme une grille, soit à utiliser une approche aléatoire stratifiée. Les sites du réseau de surveillance des sols français sont sélectionnés par échantillonnage systématique aléatoire (SY). Le réseau repose ainsi sur une grille de 16 x 16 km, ce qui conduit à un total d'environ 2200 sites. Ces sites sont échantillonnés tous les 10 à 15 ans.

Il est largement reconnu que l'échantillonnage systématique conduit à une bonne couverture spatiale, c'est à dire que les sites sont uniformément répartis sur le territoire métropolitain, ce qui permet d'obtenir une bonne précision des moyennes spatiales fondées sur les estimateurs classiques ou '*design-based*' (DB). En outre, une grille systématique est très bien adaptée à la cartographie par krigeage. Le plan d'échantillonnage systématique est donc souple : les observations peuvent être utilisées à la fois pour l'estimation DB des moyennes et des totaux mais également, pour la cartographie. Qui plus est, les estimateurs DB de la moyenne ou du total sont simples. Cependant, il n'existe pas d'estimateur DB sans biais de la variance d'échantillonnage.

Une approche simple consiste à calculer la variance d'échantillonnage, comme si les échantillons étaient issus d'un plan d'échantillonnage aléatoire simple. En général, cette procédure conduit à des estimations trop fortes (surestimation de la variance d'échantillonnage). Une deuxième approximation consiste à traiter l'échantillon SY comme un échantillon simple stratifié. Dans cette approche, les sites de la grille sont regroupés par paire sur la base de leurs coordonnées spatiales. Deux éléments d'un cluster sont ainsi voisins dans la grille. Ces deux sites sont alors traitées comme un échantillon aléatoire simple d'une strate de taille deux. D'une manière générale cette méthode est moins conservative. Une troisième option consiste à prédire la variance

d'échantillonnage à partir d'un modèle stochastique de la variation spatiale. Dans cette approche, l'échantillon de type SY est utilisé pour calibrer un modèle de la variation spatiale, appelé aussi variogramme. Ce modèle est ensuite utilisé pour simuler  $r$  champs aléatoires de la variable d'intérêt. Chaque champ simulé est ensuite échantillonné  $s$  fois par SY menant à  $s$  moyennes à partir desquelles la variance d'échantillonnage peut être estimée. Cela conduit à  $r$  estimations de la variance d'échantillonnage qui sont moyennées pour obtenir est une prédiction dite '*model-based*'. Cette procédure peut être simplifiée s'il est raisonnable de supposer la stationnarité de second ordre de la propriété: la simulation géostatistique n'est alors plus nécessaire et la variance d'échantillonnage '*model-based*' peut être calculée à partir de la semivariance moyenne calculée à partir de la grille et au sein de la zone d'étude (Domburg et al., 1994, de Gruijter et al., 2006).

Dans cette étude, les données de la première campagne du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols ont été utilisées pour produire des estimations des variances d'échantillonnage basées sur les trois méthodes présentées ci-dessus. Nous avons pris comme exemple le calcul de ces statistiques pour plusieurs éléments traces métalliques et pour divers grands domaines d'intérêt définis en fonction du matériau parental de sols.

## Références

- Arrouays, D., Marchant, B. P., Saby, N. P. A., Meersmans, J., Orton, T. G., Martin, M. P., Bellamy, P. H., Lark, R. M. & Kibblewhite, M. 2012. Generic Issues on Broad-Scale Soil Monitoring Schemes: A Review. *Pedosphere*, 22, 456-469.
- De Gruijter, J., Brus, D. J., Bierkens, M. F. P. & Knotters, M. 2006. *Sampling for Natural Resource Monitoring*, Springer-Verlag.
- Domburg, P., De Gruijter, J. J. & Brus, D. J. 1994. A structured approach to designing soil survey schemes with prediction of sampling error from variograms. *Geoderma*, 62, 151-164.

## **Suivi des pools cinétiques de carbone des sols de montagne: une approche par pyrolyse Rock-Eval et fractionnement granulodensimétrique de la matière organique du sol**

**SAENGER Anaïs<sup>1</sup>, CECILLON Lauric<sup>2</sup>, POULENARD Jérôme<sup>3</sup>,  
BUREAU Fabrice<sup>4</sup>, DE DANIELI Sébastien<sup>2</sup>, BRUN Jean-Jacques<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Université Catholique de Louvain, Earth and Life Institute - Environmental Sciences, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

<sup>2</sup>Irstea, UR EMGR Ecosystèmes Montagnards, F-38402 Saint-Martin-d'Hères, France

<sup>3</sup>Université de Savoie, Laboratoire EDYTEM - UMR 5204 CNRS, F-73376 Le Bourget du Lac, France

<sup>4</sup>Université de Normandie, Laboratoire ECODIV, EA 1293, F-76821 Mont Saint Aignan, France

Les stocks de carbone organique du sol (COS) en montagne apparaissent fortement vulnérables aux changements climatiques et changements d'usage (Sjögersten-Turner *et al.*, 2011). Pour appréhender au mieux la réactivité et la vulnérabilité de ces stocks, il est nécessaire d'estimer précisément leurs pools cinétiques de COS. Toutefois, obtenir ces informations dans des environnements aussi hétérogènes que les sols de montagne requiert des méthodes accessibles, rapides et fiables pour l'étude de la stabilité biogéochimique du COS. Récemment, la pyrolyse Rock-Eval (RE) a été mise en avant comme un outil prometteur, permettant une quantification aisée de trois pools de COS de stabilité thermique différente (Saenger *et al.*, 2013). La méthode nécessite néanmoins d'être validée par comparaison avec d'autres outils analytiques.

Les objectifs de notre étude étaient (1) d'approfondir nos connaissances sur les stocks de COS et leur stabilité dans un gradient d'écosystèmes en contexte montagnard calcaire et (2) de comparer la pyrolyse RE avec la méthode normalisée de fractionnement granulodensimétrique de la matière organique des sols pour caractériser les pools majeurs de COS à l'échelle du paysage.

Ce travail a été conduit sur la réserve naturelle des Hauts Plateaux du Vercors (massif du Vercors, France). Un ensemble de 58 échantillons de sol de surface (0-10 cm) a été collecté sur sept unités écologiques représentatives du site d'étude : forêts de conifères, prairies xériques subalpines, prairies mésiques subalpines, prairies acides subalpines, pelouses alpines, crêtes d'altitude et parcs de nuit pour ovins.

Le fractionnement granulodensimétrique a révélé différents profils de stabilité du COS sur les éco-unités étudiées. La labilité élevée du COS des crêtes d'altitude et des parcs de nuit (fortes proportions de matière organique particulaire, MOP) contraste avec la plus grande stabilité du COS des prairies acides, des prairies mésophiles et des pelouses alpines sur Brunisols (fortes proportions de matière organique associée aux minéraux, MOaM). Le COS des forêts de conifères et des prairies xériques subalpines présente un profil de stabilité intermédiaire.

Néanmoins, les proportions de MOP globalement élevées pour l'ensemble des sols étudiés (de 30% à 75% de la matière organique totale) suggèrent que la persistance du CO dans ces sols est fortement dépendante de facteurs environnementaux et édaphiques locaux tels

que les conditions climatiques ou le pH du sol, et soulignent la forte vulnérabilité des stocks de COS de ce territoire aux changements globaux.

La technique de pyrolyse RE permet de retrouver les mêmes profils de stabilité du COS pour les éco-unités étudiées et fournit des résultats comparables au fractionnement granulodensimétrique pour l'identification des pools majeurs de COS (labile vs. stable), tout en présentant l'avantage d'être rapide, facile à mettre en œuvre et peu coûteuse. Des divergences entre les deux techniques ont toutefois été observées concernant la quantification exacte des pools de COS, avec des corrélations plus élevées entre les pools physiquement et thermiquement stables qu'entre les pools labiles ( $R^2 = 0,59$  et  $0,50$ , respectivement). Dans l'ensemble, cette étude confirme l'intérêt d'utiliser la pyrolyse RE comme un proxy potentiel pour le suivi des pools cinétiques de COS à l'échelle du paysage.

## References

Saenger, A., Cécillon, L., Sebag, D., Brun, J.J., 2013. Soil organic carbon quantity, chemistry, and thermal stability in a mountainous landscape: A Rock-Eval pyrolysis survey. *Organic Geochemistry* 54, 101–114.

Sjögersten-Turner, S., Alewell, C., Cécillon, L., Hagedorn, F., Jandl, R., Leifeld, J., Martinsen, V., Schindlbacher, A., Sebastià, M.-T., Van Miegroet, H., 2011. Mountain soils in a changing climate; vulnerability of carbon stocks and ecosystem feedbacks. in: *Soil carbon in sensitive European ecosystems. From science to land management*. Oxford, Ed. Jandl, R. (et al.), Wiley-Blackwell. 118-148.

## Salinisation et sodisation des sols dans la plaine irriguée de la Mina (nord-ouest d'Algérie). Diagnostic par mesures conjointes des conductivités électromagnétique et hydraulique saturée

OUANOUKI Mokhtar<sup>1</sup>, KRADIA Laïd<sup>2</sup>, GORINE Mohamed<sup>3</sup> et BENKHELIFA Mohammed<sup>4</sup>

<sup>1 et 4</sup> : Université A. IbnBadis Mostaganem (UMAB), Département d'Agronomie, BP 17 Bordj Amar 27000, Mostaganem, Algérie. [ouanouki.mokhtar@gmail.com](mailto:ouanouki.mokhtar@gmail.com), [benkhellifa@hotmail.com](mailto:benkhellifa@hotmail.com)

<sup>2</sup> : Institut National des Sols de l'Irrigation et du Drainage (INSID), El Matmore 48000, Relizane, Algérie. [kradia2003@yahoo.fr](mailto:kradia2003@yahoo.fr)

<sup>3</sup> : Institut National de la Recherche Agronomique Algérie (INRAA), El Hmadéna 48000, Relizane, Algérie. [gorine2006@yahoo.fr](mailto:gorine2006@yahoo.fr)

### Introduction

La détermination de la salinité et son évolution spatio-temporelle dans le profil du sol sont des données importantes pour une gestion agricole durable en milieux arides et semi arides. La méthode conventionnelle de *laboratoire* pour mesurer la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol (CEeps), est contraignante en temps et en effort. Celle d'induction électromagnétique, constitue une alternative rapide, facile et non destructive pour mesurer *in situ* la conductivité électrique apparente du sol (CEa) à l'aide de la sonde électromagnétique EM38RT de Geonics (McNeill, 1980).

Le but de cette étude est d'établir un diagnostic de la salinité et de la sodicité d'une parcelle de 17 ha située dans la plaine irriguée de la Mina. Pour cela, des mesures conjointes de conductivités électrique apparente CEa (en mode horizontal de la sonde) et hydraulique saturée CHs (par la méthode du perméamètre à charge constante) sont effectuées.

Le site d'étude est situé à environ 350 km au nord-ouest d'Alger (35°47'51"N - 0°33'11"E). Le climat est de type méditerranéen semi-aride avec des précipitations annuelles ne dépassant pas 350 mm réparties de novembre à mars. Les sols sont à dominance argileuse structurée (10 à 60% ; moyenne 34,92%). La structure est grumeleuse à polyédrique en surface et prismatique à massive en profondeur.

La nappe située à une profondeur moyenne de 2 m en saison sèche, a une conductivité électrique (CE) de 5,6 dS.m<sup>-1</sup>, un SAR de 12,5 et un pH de 7,5. Une moitié de la parcelle est occupée par de jeunes oliviers, l'autre moitié par l'avoine. Entre les plants d'oliviers se développe des espèces halophytes, essentiellement salsola et l'épinard sauvage. Le verger est arrosé par un système d'irrigation localisée à partir du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda (CE 1,71 dS.m<sup>-1</sup> et SAR 2,74). 165 mesures de la CEa selon un maillage systématique de 25x30 m et 15 prélèvements pour la détermination de la CEeps sont effectuées. Les données de la CEa sont calibrées par rapport à celles de la CEeps (Douaik *et al.*, 2005).

### Résultats et discussion

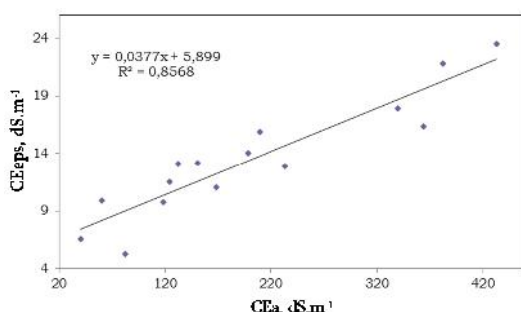


Fig.1–Courbe de corrélation ECsep-CEa

La corrélation entre la CEeps et la CEa (Fig. 1), a permis de déduire les données de la CEeps pour tous les points où la CEa est systématiquement mesurée. La carte de salinité totale (Fig. 2), montre que la CEeps est supérieure à 8 dS.m<sup>-1</sup> pour 98 % de l'aire de la parcelle. La carte du SAR (Fig. 3), montre de façon similaire des sols fortement, à extrêmement affectés par la sodicité. La comparaison entre les cartes du SAR et d'isovaleurs de la CHs (Fig.4) montre que les plus faibles valeurs de cette dernière correspondent aux fortes valeurs du SAR.

Les valeurs de la CHs sont faibles à assez faibles, selon l'échelle d'O'Neal (*in* Duchaufour, 1979). C'est la partie

nord-est de la parcelle qui est la plus affectée : CEeps > 16 dS.m<sup>-1</sup>, SAR > 10 et CHs < 1cm.h<sup>-1</sup>. En effet, le rendement de l'avoine a enregistré dans cette partie, la plus faible moyenne (14,7 qtx.ha<sup>-1</sup>), par rapport à la moyenne du reste de la parcelle 20,15 qtx.ha<sup>-1</sup>. Cela est dû, en partie, à



la déficience du réseau de drainage à ciel ouvert et aux doses de lessivages non comprises, jusque-là, dans les doses d'irrigation pratiquées par les agriculteurs. Dès lors, cette approche prédit la prise en compte de la fonctionnalité du réseau de drainage et l'application des doses de lessivage. La méconnaissance de l'importance de ces deux paramètres hydroagricoles, concerne la plupart des agriculteurs. Certains recourent à l'alternative d'installer d'autres cultures relativement tolérantes à la salinité (souvent l'artichaut). Mais après deux ou trois campagnes, ils se

voient confronter au même problème de chute de leurs rendements. Une formation technique doit donc leur être réservée en termes de conduite de l'irrigation. Par la suite, il importerait de les associer aux opérations de diagnostic et d'optimisation de la gestion hydroagricole dans la perspective de pouvoir stabiliser la salinité et la sodicité à des seuils tolérables par les cultures choisies.

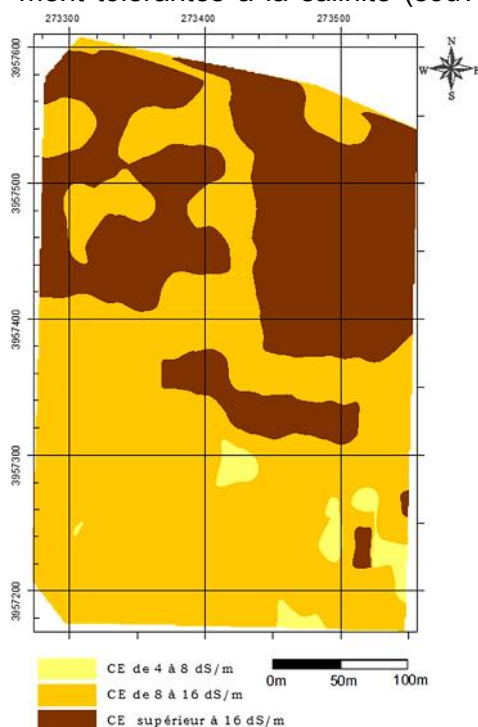


Fig. 2 – Carte de la salinité totale

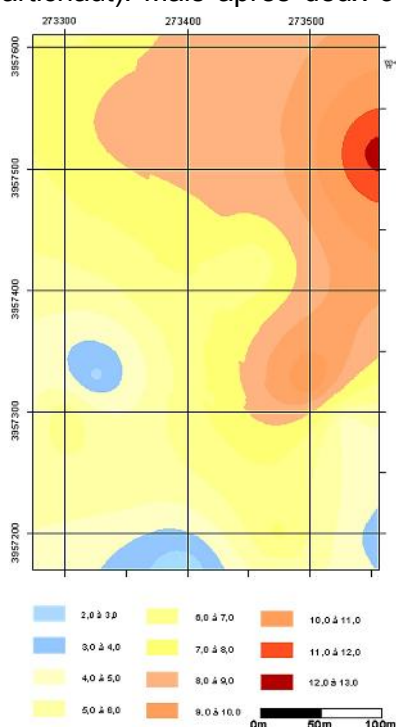


Fig. 3 – Carte de variations du SAR

### Conclusions

L'approche d'aborder

le diagnostic de salinisation des sols d'une parcelle irriguée a permis de rapprocher le degré de méconnaissance des agriculteurs en termes de règles élémentaires de conduite de l'irrigation en milieu salin. Ce qui conduit certainement à la dégradation des sols et de l'écosystème en général. Une formation destinée à ces derniers sur la conduite de l'irrigation, du drainage et au cas limite sur les amendements calciques, est nécessaire. Dans ce cas, le diagnostic de la salinisation des sols sera focalisé sur la nature et les propriétés intrinsèques du milieu. Il sera aussi possible d'étendre l'expérience au reste des parcelles de la plaine en vue d'une gestion intégrée et un développement durable du milieu.

### Références

Douaik A, Van Meirvenne M and Toth T., 2005. Soil salinity mapping using spatiotemporal kriging and Bayesian maximum entropy with interval soft data. *Geoderma* 128 : 234-48.  
Duhauffour P., 1979. Constituants et propriétés du sol. *Pédologie*2. Editions Masson, Paris, 460p.  
McNeill JD, 1980. Electrical conductivity of soils and rocks. Note Tech. TN-5. Mississauga (Ontario, Canada): Geonics Ltd.

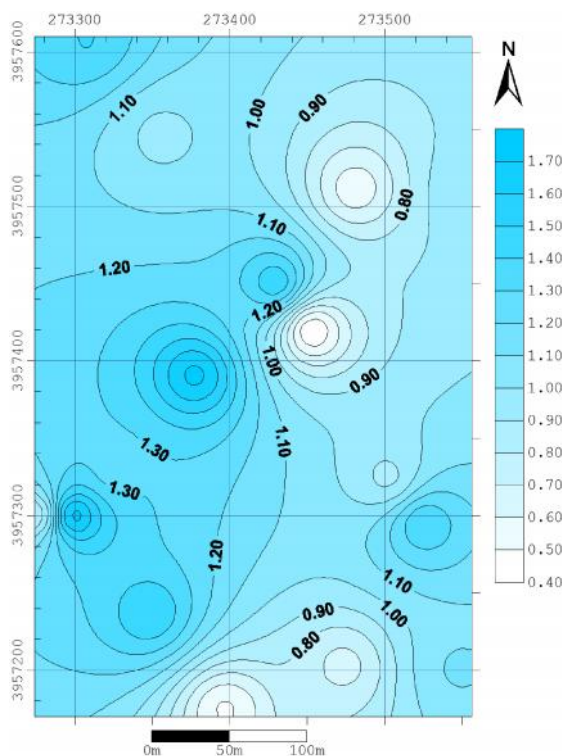


Fig. 4 – Carte d'isovaleurs de la CHs (cm.h<sup>-1</sup>)



## **Prédiction des zones humides potentielles par combinaison de l'indice topo-climatique et de la dénivelée au cours d'eau à l'échelle du territoire français.**

**Lionel Berthier (1, 2, 3), Lubomira Guzmova (4), Bertrand Laroche(4), Sébastien Lehmann (4), Hervé Squvidant (1, 2, 3), Manuel Martin (4), Jean-Philippe Chenu (4), Emmanuel Thiry (5), Blandine Lemerancier (1, 2, 3), Marion Bardy (4), Philippe Mérot (1, 2, 3), Christian Walter (1, 2, 3)**

- (1) AGROCAMPUS OUEST, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France
- (2) INRA, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France
- (3) Université Européenne de Bretagne, France
- (4) INRA, US1106, InfoSol, F-45075 Orléans, France
- (5) MEDDE, Direction de l'eau et de la biodiversité, sous-direction des espaces naturels.

### **Introduction**

La prédiction des zones humides est un enjeu majeur pour concevoir et mettre en œuvre une politique nationale cohérente visant à la préservation de ces écosystèmes fragiles mais essentiels qui sont impliqués dans la production de nombreux services écosystémiques. Fortement liée à la situation topographique, l'occurrence des zones humides potentielles est principalement conditionnée par la géomorphologie, les précipitations et la dénivelée au cours d'eau. Cette étude teste à l'échelle de la France métropolitaine le développement et la mise en œuvre d'une méthode fondée sur la combinaison d'un indice topo-climatique (Mérot et al., 2003) avec la dénivelée au cours d'eau pour prédire la distribution spatiale des zones humides potentielles.

### **Matériels et méthodes**

L'approche utilisée dans cette étude (basée sur l'évaluation des zones humides potentielles, effectives et efficaces, fig.1) permet de prédire la distribution spatiale des zones humides potentielles au regard de critères géomorphologiques et climatiques (Mérot et al., 2006). Les zones humides potentielles incluent d'anciennes zones humides dont le fonctionnement hydrologique et hydrique a été modifié par le drainage artificiel ou la rectification des cours d'eau. L'indice topo-climatique et la dénivelée au cours d'eau théorique ont été calculés au niveau national sur la base d'un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 50 mètres. La France a été stratifiée en hydro-éco-régions (Wasson et al., 2004) dont la segmentation est fondée sur la géologie, le climat, la topographie, la végétation et la densité du réseau de drainage (fig. 2). Au sein de chaque hydro-éco-région, les fréquences cumulées de l'indice topo-climatique ont été calculées et seuillées de façon à produire des surfaces en ZHP égales à celles estimées directement d'après les données pédologiques des Référentiels Régionaux Pédologiques à 1/250 000 et les bases de données au format DoneSol associées. Le seuil de la dénivelée au cours d'eau a été déterminé en considérant le contour des enveloppes approchées d'inondation potentielle. Les deux seuils ont été combinés d'après un arbre de décision expert basé sur la perméabilité de la surface du sol et le positionnement topographique. Cette association entre arbre de décision et application des indices a été appliquée à l'échelle nationale pour la prédiction des zones humides

potentielles. Les résultats ont été validés par confrontation avec des données pédologiques ponctuelles et surfaciques disponibles au format de DoneSol.

## Résultats et discussion

La combinaison de l'indice topo-climatique avec celui de la dénivelée au cours d'eau s'avère meilleure que les deux indices pris séparément pour prédire la distribution spatiale des zones humides à l'échelle de toute la France. Les prédictions sont satisfaisantes exceptées sur des zones où la densité des données pédologiques utilisées pour déterminer les seuils est trop faible.

## Conclusion

Cette étude démontre le potentiel de cette stratégie à prédire les zones humides sur de vastes surfaces en couplant des bases de données sur les sols consolidées à moyenne échelle et des indices calculés à une résolution relativement fine. Elle a également mis en évidence la nécessité de poursuivre l'acquisition de données sur les sols et l'exploration de leurs potentialités d'utilisation.

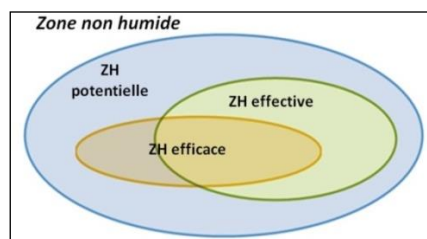


Figure 1 : Représentation de l'organisation des zones humides selon l'approche PEE (d'après Mérot et al., 2006).

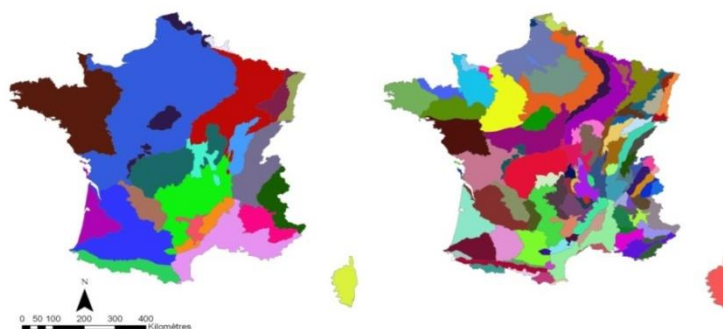


Figure 2 : Hydro-écorégions de niveau 1 (à gauche) et de niveau 2 (à droite).

## Références

- Mérot, P., L. Hubert-Moy, C. Gascuel-Oudou, B. Clement, P. Durand, J. Baudry, and C. Thenail. 2006. A method for improving the management of controversial wetland. *Environ. Manage.* 37(2): 258-270.
- Mérot, P., H. Squidant, P. Arousseau, M. Hefting, T. Burt, V. Maitre, M. Kruk, A. Butturini, C. Thenail, and V. Viaud. 2003. Testing a climato-topographic index for predicting wetlands distribution along an European climate gradient. *Ecol. Model.* 163(1): 51-71.
- Wasson, J.-G., A. Chandresris, H. Pella, and L. Blanc. 2004. Les hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau. *Ingénieries-EAT* (40): 3-10.

## **Organisation des sols des polders de Bol (Nord-Est du lac Tchad) au sein du paysage interdunaire.**

**ADOUM A. Abgassi<sup>1,2</sup>, BLANCA Yves<sup>3</sup>, Le MARTRET Hervé<sup>4</sup> et BROSSARD  
Michel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: UMR 210 IRD – Eco&Sols, 2, Place Pierre Viala. Bât. 12. 34060 Montpellier cedex 2, France. [michel.brossard@ird.fr](mailto:michel.brossard@ird.fr)

<sup>2</sup>: Université de N'Djamena. Département de Géologie. B.P. 1027. N'Djamena. Tchad. [abdraman.adoum@ird.fr](mailto:abdraman.adoum@ird.fr)

<sup>3</sup>: IRD - UMR LISAH, 2, Place Pierre Viala, Campus SupAgro Bât 24. F-34060 Montpellier cedex. [yves.blanca@ird.fr](mailto:yves.blanca@ird.fr)

<sup>4</sup>: IRD – UMR GRED, 911 avenue agropolis, B.P. 64501. 34394 Montpellier cedex 1, France. [herve.lemartret@ird.fr](mailto:herve.lemartret@ird.fr)

### **Organisation des sols des polders de Bol (Nord-Est du lac Tchad) au sein du paysage interdunaire.**

Les polders de la région de BOL, situés dans la partie nord-ouest de la zone sahélienne du Tchad (12° 20' et 14° 20' de latitude Nord, et 13° et 15° 20' de longitude Est). Le climat y est semi-aride à aride. Ce sont des anciens bras interdunaires du lac Tchad, qui ont été isolés du lac ou des bras voisins qui sont encore en eau, soit par des barrages (digue) en sable, soit par des massifs dunaires d'une dizaine de mètre de hauteur et aménagés en polders dont les plus anciens sont âgés de cent ans. Certains d'entre eux ont été étudiés par Cheverry en 1974.

Lors de la fermeture du barrage, les sédiments du lac sont constitués de matériaux argileux (illite, kaolinite et surtout montmorillonite) contenant des diatomées et de la matière organique (4 - 25%) et localement enrichis en calcite et en sulfures métalliques noirs (Droubi et al., 1976).

Les sols sont soumis à un régime hydrologique de submersion temporaire 3 mois/an, caractérisé par le débordement des eaux du lac pendant la saison pluvieuse, puis à un régime de sécheresse où les sols sont secs pendant la plus grande partie de l'année. Dans certains polders l'agriculture est menée sous l'irrigation par submersion.

Au moment des premières phases de la mise en place d'un polder, l'eau lacustre, à l'origine, faiblement minéralisée se concentre par évaporation, s'assèche et dépose des sels qui se mélangent en surface aux matériaux sédimentaires. Les portions de territoires en bordures des zones des dépôts sont peu affectés par les sels, contrairement aux zones de bas-fonds.

Nous proposons une toposéquence synthétique d'organisation de ces sols dans le paysage interdunaire sur la base des travaux de terrain. Cette toposéquence décrit le passage du sédiment initial des polders récents jusqu'à des polders d'une cinquantaine d'années, où les sols sont en place. Ces éléments sont restitués au regard des missions antérieures (Cheverry, Guichard, Rieu).

## Traitement de l'information géoélectrique pour cartographier l'épaisseur du sol à l'échelle intra parcellaire

SEGER Maud<sup>1</sup>, MITOMBA Ndjiba Daril<sup>1</sup>, MISTOU Marie-Noël<sup>2</sup>, UBERTOSI Marjorie<sup>3</sup>, HUGARD Rodolphe<sup>4</sup>, GRANDEAU Gilles<sup>2</sup>, COUSIN Isabelle<sup>1</sup>, BOURENNANE Hocine<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : UR0272 SOLS, INRA Val-de-Loire, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, [maud.seger@orleans.inra.fr](mailto:maud.seger@orleans.inra.fr)

<sup>2</sup> : UMR0211 Agronomie, INRA Versailles-Grignon, 78850 Thiverval-Grignon

<sup>3</sup> : UMR 1347 Agroécologie, AgroSup Dijon, 21079 Dijon

<sup>4</sup> : UE0115 Domaine Expérimental d'Epoisses, INRA Centre de Dijon, Domaine d'Epoisses, 21110 Bretenières

### Introduction

Connaître l'épaisseur du sol de façon exhaustive sur toute la surface d'une parcelle hétérogène en terme de types de sol, constitue un des enjeux importants pour mieux estimer le réservoir d'eau utilisable par les plantes. L'objectif de ce travail était de tester différentes approches statistiques et géostatistiques permettant d'estimer de manière continue l'épaisseur du sol à partir de la combinaison de sondages ponctuels et d'une variable exhaustive issue d'une prospection géoélectrique.

### Site d'étude et mesures

L'étude a été menée sur le site expérimental INRA d'Epoisses, situé sur la commune de Bretenières (Côte-d'Or, Bourgogne). Ce domaine de 140 ha est composé de rendzines brunifiées de faible épaisseur (20 à 40 cm) et de sols bruns calciques plus épais (50 à 100 cm) reposant sur un cailloutis calcaire (Chrétien, 1972).

Une prospection géoélectrique a été réalisée en novembre 2011 par l'ARP (Automatic Resistivity Profiling). Cette technique permet de mesurer de manière quasi-continue la résistivité électrique du sol selon trois voies de mesure V1, V2 et V3 conduisant à l'obtention de 3 cartes de résistivité électrique correspondant à trois profondeurs d'investigation (environ 0-50 cm, 0-100 cm et 0-170 cm, respectivement).

Sur la base de cette prospection géoélectrique un plan d'échantillonnage de 28 points a été établi puis les sondages ont été réalisés sur le terrain afin de décrire les sols et de mesurer leur épaisseur. Ces dernières sont comprises entre 23 et 192 cm, avec 50 % des mesures inférieures à 50 cm.

### Approches testées

A partir des mesures ponctuelles de la variable d'intérêt (épaisseur du sol) et de l'information exhaustive de résistivité électrique sur les 3 voies, 4 cartes d'épaisseurs ont été estimées selon deux approches :

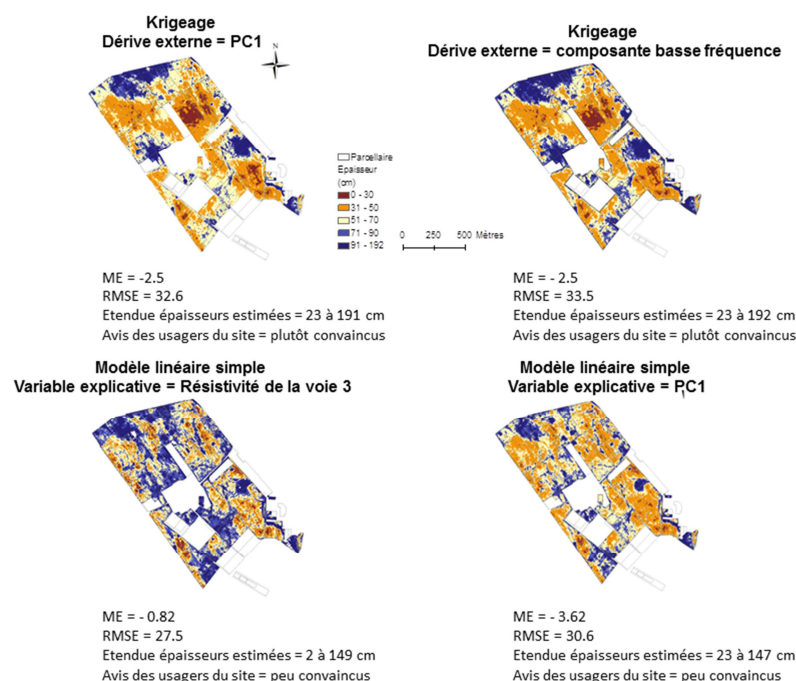
- **Approche géostatistique** : les cartes des épaisseurs de sol sont estimées par krigeage en utilisant l'information géoélectrique comme dérive externe. Cette dernière est soit (i) la première composante (PC1) d'une ACP (analyse en composantes principales) réalisée sur l'information géoélectrique soit (ii) la composante basse fréquence identifiée à partir du variogramme expérimental effectué sur PC1.

- **Approche statistique** : les cartes des épaisseurs de sol sont estimées par des modèles de régression linéaire simple établis entre l'épaisseur du sol mesurée et (i) la valeur de résistivité issue de la voie la mieux corrélée à l'épaisseur ; (ii) la valeur de PC1.

## Résultats et discussion

Les résultats ont montré que la résistivité électrique mesurée par la voie 3 est la mieux corrélée à l'épaisseur du sol ( $r = -0.84$ ). Par ailleurs, PC1 explique 85.5% de la variance totale des trois voies et est fortement corrélée ( $r = -0.81$ ) à l'épaisseur du sol.

Les 4 cartes de l'épaisseur des sols issues des deux approches d'estimation considérées sont représentées dans la figure 1 avec les indicateurs statistiques issus d'une procédure de validation croisée ainsi qu'une appréciation qualitative des usagers.



**Figure 1** : Epaisseur de sol estimée sur le site d'Epoisses

ME : erreur moyenne,

RMSE : racine carrée de l'erreur moyenne quadratique.

Le modèle linéaire simple avec la résistivité de la voie 3 comme variable explicative présente les indicateurs statistiques (ME et RMSE) les plus faibles. Cependant, l'étendue des épaisseurs estimées (2 à 149 cm) ainsi que le rendu cartographique présentant une forte proportion de sols profonds sont peu convaincants. Dans le cas de l'estimation avec PC1 comme variable explicative dans le modèle linéaire, la valeur maximale n'atteint pas la valeur maximale mesurée sur le terrain (192 cm). Malgré des ME et RMSE plus élevées, les estimations par krigeage correspondent mieux aux connaissances expertes et les étendues des résistivités estimées sont cohérentes avec les observations de terrain.

## Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de tester différentes approches d'estimation spatialisée de l'épaisseur du sol à partir d'une prospection géoélectrique et de sondages locaux. L'utilisation de PC1 comme indicateur regroupant l'information contenue dans les 3 voies de mesure de l'ARP constitue un travail original. Une validation des résultats obtenus par un jeu de données indépendant est nécessaire. Ce travail sera réalisé à partir d'épaisseurs mesurées lors d'une nouvelle campagne de prospection.

## Référence

CHRETIEN, J. 1976. Carte pédologique de la France à 1/100.000. Feuille de DIJON. INRA. *Editions, carte et notice*. 218 p.

## **Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde : Le programme *GlobalSoilMap***

**Arrouays Dominique<sup>1</sup>, Hempel John<sup>2</sup>, McBratney Alex<sup>3</sup>, McKenzie Neil<sup>4</sup>, Hartemink Alfred<sup>5</sup>, McMillan Roger<sup>6</sup>, Lagacherie Philippe<sup>7</sup>\***

<sup>1</sup>INRA, InfoSol unit, US 1106, CS 40001 Ardon, Orléans cedex 2, France

<sup>2</sup>United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE 68508, USA

<sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Food & Natural Resources. The University of Sydney, NSW, AU 2006.

<sup>4</sup>The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Canberra, AU

<sup>5</sup>University of Wisconsin - Madison, Department of Soil Science, FD Hole Soils Lab, 1525 Observatory Drive, 53706 Madison, USA

<sup>6</sup>Retired- ISRIC, World Soil Information Centre, NL

<sup>7</sup>INRA, UMR LISAH, Montpellier France

A l'heure où il est reconnu que la connaissance et la protection des sols sont des piliers majeurs pour répondre à de grands enjeux planétaires (sécurité alimentaire, changement climatique, accaparement des terres, urbanisation et artificialisation, gestion de l'eau...), il paraît plus que jamais indispensable de se doter d'outils permettant de prendre en compte les propriétés des sols à l'échelle mondiale. Face à ces constats, les initiatives internationales se multiplient. L'une d'elle, le projet *GlobalSoilmap*, vise à produire à terme une base de données digitale harmonisée et mondiale de quelques propriétés des sols. Il a été lancé en 2006 à l'initiative du Groupe de Travail « Digital Soil Mapping » de l'Union Internationale de Science du Sol (IUSS).

Il est porté par un consortium qui réunit des organismes leaders dans le domaine de la cartographie des sols. L'objectif du programme est de produire une base de données librement accessible de quelques propriétés des sols d'intérêt majeur, sous forme d'une grille raster au pas de 100 mètres, et ce, sur la totalité du Monde, surfaces artificialisées exclues. Il est prévu de délivrer ces propriétés sous la forme de valeurs moyennes assorties d'intervalles de confiance (ou fourchettes de valeurs les plus probables) de façon à rendre compte en même temps de l'incertitude associée. La prédiction de ces propriétés à des profondeurs standard est faite en utilisant la fonction « Spline » pour transformer des données recueillies par horizons ou par couches de profondeurs connues en un profil

continu modélisant la distribution de la propriété en fonction de la profondeur. Une attention particulière est portée à l'estimation des incertitudes. Bien qu'aucun pays n'ait actuellement produit une couverture exhaustive de toutes les propriétés, un certain nombre de pays se sont lancés dans l'aventure, et disposent déjà, pour tout ou partie de leur territoire, de quelques produits conformes aux spécifications de *GlobalSoilMap*.

## **Etat d'avancement du programme de cartographie des sols à moyennes échelles : Connaissance Pédologique de la France (CPF)**

**RICHER de FORGES Anne C.<sup>1</sup>, BAFLET Michel<sup>2</sup>, BERGER Cédric<sup>3</sup>, COSTE Silvan<sup>4</sup>, COURBE Christian<sup>5</sup>, JALABERT Stéphanie<sup>6</sup>, LACASSIN Jean-Claude<sup>7</sup>, MAILLANT Sophie<sup>8</sup>, MICHEL Francis<sup>9</sup>, MOULIN Joël<sup>10</sup>, PARTY Jean-Paul<sup>11</sup>, RENOARD Chantal<sup>12</sup>, SAUTER Joëlle<sup>13</sup>, SCHEURER Olivier<sup>14</sup>, VERBEQUE Bernard<sup>15</sup>, DESBOURDES Sacha<sup>1</sup>, HELIES Florence<sup>1</sup>, LEHMANN Sébastien<sup>1</sup>, SABY Nicolas P.A.<sup>1</sup>, TIENTCHEU Eugénie<sup>1</sup>, JAMAGNE Marcel<sup>1</sup>, LAROCHE Bertrand<sup>1</sup>, BARDY Marion<sup>1</sup> et VOLTZ Marc<sup>16</sup>**

<sup>1</sup> Unité InfoSol, US 1106, INRA, CS 40001 Ardon, Orléans cedex 2, France, anne.richer-de-forges@orleans.inra.fr

<sup>2</sup> Chambre d'Agriculture de la Corrèze, immeuble consulaire, le Puy Pinçon, BP 30, 19001 Tulle cedex

<sup>3</sup> Chambre d'Agriculture du Loir-et-Cher, CS 1808 - 11-13-15 rue Louis Joseph Philippe, 41018 Blois

<sup>4</sup> SIG L-R : Association Système d'Informations Géographiques en Languedoc-Roussillon, Maison de la télédétection, 500 rue Jean-François Breton, 34093 Montpellier Cedex 5

<sup>5</sup> Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne, 2 avenue Georges Guingouin, CS 80912 Panazol, 87017 Limoges cedex 1

<sup>6</sup> Bordeaux Sciences Agro, Département "Sciences et Gestion du Végétal", Bâtiment Médoc, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40201, 33175 Gradignan cedex

<sup>7</sup> Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la région provençale, le Tholonet CS 70064, 13182 Aix-en-Provence cedex 5

<sup>8</sup> Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, 9 rue de la Vologne, Batiment i, 54520 Laxou

<sup>9</sup> SOLEST, 16 rue Emile Simon, 52000 Chaumont

<sup>10</sup> Chambre d'Agriculture de l'Indre, 24 rue des Ingrains 36000 Châteauroux

<sup>11</sup> Sol-Conseil, 251 route de la Wantzenau, 67000 Strasbourg

<sup>12</sup> Chambre d'Agriculture de la Vienne, BP 50001, 86550 Mignaloux-Beauvoir

<sup>13</sup> ARAA, Association pour la Relance Agronomique en Alsace, 2 rue de Rome, BP 30022 Schiltigheim, 67013 Strasbourg Cedex

<sup>14</sup> Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, 19, rue Pierre Wagnet, BP 30313, 60026 Beauvais cedex

<sup>15</sup> Chambre d'Agriculture du Loiret, avenue des droits de l'Homme, 45000 Orléans

<sup>16</sup> Laboratoire sur les Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème UMR INRA-IRD-SupAgro 2 place Viala 34060 Montpellier Cedex, France

Le programme Connaissance Pédologique de la France (CPF) du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) est un volet du programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols. Il concerne la cartographie des sols à moyennes échelles (de 1/50 000 à 1/100 000). Il a débuté en 1968. Ce programme permet de collecter des connaissances scientifiques sur la diversité et la distribution des sols en France. Il est coordonné par l'unité InfoSol de l'INRA qui en est le garant scientifique. Mais il engage de nombreux autres partenaires (CNRS, Universités, entités régionales, Chambres d'Agriculture, sociétés d'aménagement...).



Actuellement environ 24 % du territoire est couvert par une cartographie des sols au 1/100 000 et environ 18 % au 1/50 000.

Sur le plan national, la priorité financière a toutefois été donnée au programme de cartographie de la France au 1/250 000, en voie d'achèvement (King *et al.*, 1999) afin d'aboutir le plus rapidement possible à une connaissance nationale des sols de France à une échelle inférieure au 1/1 000 000. Toutefois, le besoin de cartographie des sols à moyennes échelles est toujours présent et de nouvelles cartes sont publiées chaque année dans le cadre de ce volet du programme IGCS. De même, la capitalisation des informations se poursuit par la numérisation progressive des cartes déjà publiées (couche graphique et base de données).

Cette cartographie joue un rôle essentiel dans l'enrichissement de nos connaissances sur les sols et notamment de leurs lois de répartition dans le paysage. L'informatisation de ces données permet de disposer d'un outil puissant qui constitue un atout précieux pour mieux prendre en compte la nature des sols au niveau local dans différents domaines (agronomie, environnement, aménagement des territoires...) et ainsi mieux répondre à des enjeux de durabilité des activités agricoles, de gestion et d'aménagement des territoires, ou encore de préservation des ressources et des écosystèmes. Ce programme permet de répondre aux nombreuses demandes en données sur les sols qui se font à des échelles de plus en plus précises. Elle apporte également une aide non négligeable à la cartographie au 1/250 000 avec notamment une utilisation de ces cartes pour décrypter l'organisation des sols et comme zone d'apprentissage pour de la cartographie numérique.

#### **Bibliographie :**

Richer de Forges A.C., Baffet M., Berger C., Coste S., Courbe C., Jalabert S., Lacassin J.-C., Maillant S., Michel F., Moulin J., Party J.-P., Renouard C., Sauter J., Scheurer O., Verbègue B., Desbourdes S., Héliès F., Lehmann S., Saby N.P.A., Tientcheu E., Jamagne M., Laroche B., Bardy M. et Voltz M. (soumis). La cartographie des sols à moyennes échelles en France métropolitaine. *Etude et Gestion des Sols*.

King D., Jamagne M., Arrouays D., Bornand M., Favrot J.-C., Hardy R., Le Bas C. et Stengel P. (1999). Inventaire cartographique et surveillance des sols en France. Etat d'avancement et exemples d'utilisation. *Etude et Gestion des Sols*. Vol. 6, 4. 215-228 pp.

## La connaissance des sols sur le territoire français : la BDGSF et le programme IGCS

LAROCHE Bertrand <sup>1</sup>, BARDY Marion <sup>1</sup>, RICHER de FORGES Anne <sup>1</sup>, LEMENAGER Sandrine <sup>2</sup>, ARROUAYS Dominique <sup>1</sup>, LE BAS Christine <sup>1</sup>, EIMBERCK Micheline <sup>1</sup>, SCHNEBELEN Nathalie <sup>1</sup>, LEHMANN Sébastien <sup>1</sup>, TIENTCHEU Eugénie <sup>1</sup>, VOLTZ Marc <sup>3</sup>

(1) Unité InfoSol, US 1106, INRA, CS 40001 Ardon, Orléans cedex 2, France, bertrand.laroche@orleans.inra.fr

(2) DGPAAT/SSADD/SDBE/BSE Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 3, rue Barbet de Jouy, 75 349 Paris

(3) Laboratoire sur les Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème UMR INRA-IRD-SupAgro 2 place Viala 34060 Montpellier Cedex, France

Les données sur les sols sont sollicitées dans de nombreux champs thématiques : agronomie, environnement, aménagement du territoire, etc. Une couverture exhaustive du territoire métropolitain au millionième est disponible depuis la fin des années 1980 suite aux travaux réalisés à l'échelle européenne. La version la plus à jour, datant de 1998, correspond à la partie française de la Base de Données Géographique des Sols d'Europe à 1/1 000 000 (King *et al.*, 1994) et forme la Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF) (Jamagne *et al.*, 1995). Cette base de données a d'ores et déjà été valorisée pour un certain nombre d'applications concrètes : estimation de l'aléa érosion des sols agricoles (Le Bissonnais *et al.*, 2002), suivi de la production prairiale (Donet *et al.*, 2001), impact du changement climatique sur la production forestière (Lousteau *et al.*, 2005), étude de la pollution en nitrates du Bassin de la Seine (Ledoux *et al.*, 2007), etc. Mais l'échelle de représentation ne permet pas une traduction fine de ces thématiques.

Depuis la fin des années 1980, le ministère en charge de l'agriculture et l'INRA ont mis en place le programme Inventaire, Gestion et Conservation des sols (IGCS) qui a regroupé des programmes préexistants de cartographie des sols et a créé un programme de cartographie et d'inventaire des sols à l'échelle nationale. Le programme IGCS est ainsi décliné en 3 volets complémentaires : i) le volet Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000<sup>e</sup> (RRP), ii) le volet Connaissance Pédologique de la France pour les moyennes échelles (1/50 000<sup>e</sup> à 1/100 000<sup>e</sup>) (Richer de Forges *et al.*, 2014) et iii) le volet secteurs de référence (SR) pour les travaux à grandes échelles (Favrot *et al.*, 1989).

Il a quatre objectifs principaux :

- identifier, définir et localiser les principaux types de sols d'une région ou d'un territoire, caractériser leurs propriétés présentant un intérêt pour l'agriculture, l'environnement ou tout autre domaine ;
- élaborer des documents cartographiques de l'échelle parcellaire à l'échelle régionale ;
- constituer des bases de données de qualité répondant aux besoins des utilisateurs ;

- évaluer les aptitudes des sols à différents usages en précisant les risques pour aider aux décisions.

Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) fait partie des programmes conduits par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) depuis sa création en 2001 (Arrouays *et al.*, 2004). Ce groupement regroupe le Ministère en charge de l'Agriculture, le Ministère en charge de l'Ecologie, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe), l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN). Ces différents acteurs ont souhaité mutualiser leurs moyens dans l'objectif de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités ([www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)).

Dans le cadre du programme IGCS, le volet RRP constitue aujourd'hui la priorité nationale en vue de disposer d'une couverture plus précise et plus riche que celle au millionième. L'objectif est la réalisation d'une base de données géographique à l'échelle du 1/250 000<sup>ème</sup> sur chaque région (Bornand *et al.*, 1989 ;). De façon à capitaliser les données dans un format harmonisé quelle que soit l'échelle de restitution, une base de données nationale multi-échelle a été développée : DoneSol (Gaultier *et al.*, 1993 ; Grolleau *et al.*, 2004). Les données du programme IGCS ont déjà fait l'objet de diverses utilisations (Le Bas *et al.*, 2004 ; Le Bas et Schnebelen, 2006)..

Cette communication a pour objectif de présenter le contenu et les possibilités d'utilisation de la BDGSF et du programme IGCS, en faisant un focus sur le volet RRP.

Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D. et Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des Sols*, 11(3), pp. 187-19

Bornand M., Arrouays D., Jamagne M., et Baize D., 1989 – Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols à l'échelle du 1/250 000. *Science du Sol*. 27(1) : pp.17-20.

Donet I., Le Bas C., Ruget F., Rabaud V., 2001. Informations et Suivi Objectif des Prairies. Guide d'utilisation. *AGRESTE, Chiffres et Données*, 134, 55 p.

Favrot J.C., 1989 - Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle : la méthode des secteurs de référence. *Science du sol*, 27 (4) : 351-36

Gaultier J.P., Legros J.P., Bornand M., King D., Favrot J.C. et Hardy R., 1993 - L'organisation et la gestion des données pédologiques spatialisées : le projet Donesol. *Revue de Géomatique*, 3, pp. 235-253 – France

Grolleau, E. Bargeot, L. Chafchafi, A. Hardy R. Doux, J. Beaudou, A. Le Martret, H. Lacassin J.-C. Fort, J.-L. Falipou, P. Arrouays, D. 2004. Le système d'information national sur les données pédologiques spatialisées : DONESOL et les outils associés. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 11, 3, 2004, pages 255-269

Jamagne, M., Hardy, R., King, D., Bornand, M., 1995. La base de données géographique des sols de France. *Étude et Gestion des Sols*, 2, 153-172.

King, D., Daroussin, J., Tavernier, R., 1994. Development of a soil geographic database from the Soil Map of the European Communities. *CATENA*, 21, 37-56.

Le Bas, C., Barthès, S., Boutefoy, I., Fort, J.-L., Scheurer, O., Darracq, S., Lacassin, J.-C., Sauter, J., Schvartz, C., 2004. Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France : Un état des lieux. *Étude et Gestion des Sols*, 11, 299-305.

Le Bas, C., Schnebelen, N., 2006. Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France. Etat des lieux en 2006. *Étude et Gestion des Sols*, 13, 237-246.

Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D., 2002. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *CATENA*, 46, 207-220.

Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharme, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of the Total Environment*, 375, 33-47.

Loustau, D., Bosc, A., Colin, A., Ogée, J., Davi, H., François, C., Dufrêne, E., Déqué, M., Cloppet, E., Arrouays, D., Le Bas, C., Saby, N., Pignard, G., Hamza, N., Granier, A., Bréda, N., Ciais, P., Viovy, N., Delage, F., 2005. Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level. *Tree Physiology*, 25, 813-823.

Richer de forges A.C., Baffet M., Berger C., Coste S., Courbe C., Jalabert S., Lacassin J.-C., Maillant S., Michel F., Moulin J., Party J.-P., Renouard C., Sauter J., Scheurer O., Verbèqbe B., Desbourdes S., Héliès F., Lehmann S., Saby N.P.A., Tientcheu E., Jamagne M., Laroche B., Bardy M. et Voltz M. (soumis). Etat d'avancement du programme de cartographie des sols à moyennes échelles : Connaissance Pédologique de la France (CPF). Présentation orale. JES 2014.

## **La Carte des Sols de la Belgique : un héritage à se réapproprier**

**LEGRAIN Xavier, MICHEL Briec, COLINET Gilles**

Systemes Sol – Eau, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège (Belgique),  
Passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux (Belgique), xavier.legrain@ulg.ac.be

Une cartographie systématique à grande échelle des sols de Belgique a été conduite entre 1947 et 1991. Les observations étaient effectuées au moyen de sondages à la tarière jusqu'à une profondeur standard de 125 cm dans la mesure du possible, avec une densité moyenne de 2 sondages à l'hectare. Des plans cadastraux au 1/5 000 ont servi à noter les observations et à tracer les limites des plages cartographiques, généralisées par la suite par transcription sur fond de carte topographique au 1/10 000. La carte finale a été publiée par planchettes à l'échelle du 1/20 000, associées à des livrets explicatifs. La carte s'appuie sur une légende originale, basée majoritairement sur des critères morphologiques du sol, aisément identifiables sur le terrain, objectifs (sans a priori d'interprétation) et les plus permanents possibles. La combinaison de ces critères, transcrits en symboles alphanumériques, est à l'origine de la très grande richesse sémantique de la légende, forte de plus de 10 000 unités cartographiques de sols.

La numérisation de la Carte des Sols de la Belgique et la structuration de l'information délivrée par la légende ont ouvert de nombreuses perspectives en terme d'applications. Mais au-delà du produit final qu'est la carte, le véritable héritage légué est l'extraordinaire connaissance experte accumulée par les cartographes durant la durée du projet. Si une part inestimable de ce savoir s'en est allée en même temps qu'eux, une part tangible est accessible à travers de nombreuses publications (livrets explicatifs, monographies, thèses, articles) ou parsème divers documents d'archive (notes de terrain, PV de réunion, rapports d'excursions). Ces derniers sont également une invitation à se replonger dans le contexte historique, scientifique et philosophique de l'époque des levés. Ils permettent de ce fait de mieux cerner la manière dont la légende a été pensée, élaborée, adaptée, remaniée.

L'éclairage que ces publications et documents d'archive donnent sur la carte et sa légende laisse entrevoir une richesse d'information insoupçonnée. Se la réapproprier par une interprétation avertie de la carte est essentiel préalablement à toute valorisation. Cette communication se propose de justifier l'intérêt de cette démarche au travers de multiples exemples. Ils ont été choisis de manière (i) à présenter la diversité des cas rencontrés et (ii) à illustrer l'impact d'une telle interprétation sur la qualité des produits issus de 2 projets menés actuellement : la corrélation de la légende de la Carte des Sols de la Belgique avec le système de classification international World Reference Base et la contribution belge au projet mondial GlobalSoilMap.

## **Les inventaires de sols en milieu agricole du Québec : historique, accessibilité et perspectives**

**GAGNÉ Gilles<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 2700, rue Einstein, Québec (Québec), Canada, G1P 3W8. gilles.gagne@irda.qc.ca

### **Les inventaires de sols en milieu agricole du Québec : historique, accessibilité et perspectives**

Entre 1934 et 1938, les premiers travaux d'inventaire des sols du Québec en milieu agricole étaient associés à la production d'aliments (Baril, 1986). Ainsi, il y a eu des études (rapports et cartes) sur "les sols organiques du sud-ouest de Montréal" (sols maraîchers), "les sols à vergers de la province de Québec" et "les sols à pommes de terre". On cherchait alors à *découvrir* les propriétés des sols qui les rendaient propices à la croissance de ces plantes. À partir de 1937, les travaux ont été entrepris par circonscription électorale (les comtés) par les ministères de l'Agriculture du Canada et du Québec. La guerre 39-45 a suscité une mobilisation de pédologues-cartographes, principalement des agronomes, afin de produire des cartes de sols localisant ceux propices à la culture de la betterave sucrière et à celle du lin dans la plaine de Montréal des basses terres du Saint-Laurent, la région physiographique la plus favorable du Québec en ce qui concerne le potentiel agricole des sols et le climat. Dès cette époque, le concept des séries de sols en provenance des États-Unis a été adopté, ce qui a permis d'assurer une continuité en regard des différents systèmes de classification nationaux puisque ce sont surtout les niveaux supérieurs de classification qui ont subséquemment fait l'objet de débats et modifications. Les premières cartes de sols étaient parfois imprécises puisque les contours des polygones des unités cartographiques étaient tracés directement sur des cartes topographiques à l'échelle du 1 : 63 360 (1 mille au pouce) et que l'utilisation de photos aériennes en stéréoscopie afin de délimiter des polygones n'est survenue que durant les années 1960. Cinquante-deux études pédologiques (rapports et cartes) ont ainsi été publiées entre 1943 et 2014 et elles couvrent 52 comtés ou regroupements de comtés du Québec méridional (en incluant souvent des zones forestières), sauf ceux des comtés de Matane et Matapédia où les travaux ont débuté en 2009 et la région de la Côte-Nord. C'est ainsi que 689 noms de sols, soit 665 séries (650 minérales et 15 organiques), 19 types de terrain et 5 complexes; ont été décrits, caractérisés et cartographiés au Québec sur une superficie de 12,6 millions d'hectares. Les cartes ayant été produites à différentes échelles (1 : 20 000, 1 : 40 000, 1 : 50 000, 1 : 63 360 et 1 : 126 720) et à différentes périodes technologiques et scientifiques, il faut porter attention à la précision et à la fiabilité de l'étude pédologique consultée.

Dans les années 1980 et 1990, Agriculture Canada a procédé à la numérisation des cartes et des rapports pédologiques en format matriciel (bitmap) afin de conserver et de diffuser ces données. À partir de 1997, le ministère de l'Agriculture du Québec (MAPAQ), et par la suite en continuité l'IRDA, ont procédé à la numérisation et à la structuration des données pédologiques cartographiques en format vectoriel, arrimées à la carte de base numérique 1 : 20 000 du Québec divisée par feuillet. Des cartes uniformisées ont ensuite été générées avec ArcView afin d'obtenir des feuillets en format PDF selon les mêmes standards pour l'ensemble du Québec (légendes, mise en page, couleurs selon le matériau parental et la classe de drainage, proportion des différents noms de sols ou non-sols, etc.) avec comme fond de carte des informations sur l'occupation du territoire et le milieu naturel (réseaux de transport, cadastre, hydrographie, villes et villages, topographie, etc.). Ainsi, 659 feuillets cartographiques pédologiques en format PDF sont disponibles gratuitement sur le site Web de l'IRDA. Actuellement, la mise en disponibilité de ces feuillets en format .kmz a été entreprise afin que

les utilisateurs puissent les consulter dans Google Earth avec la fonction de transparence (carte de sols – imagerie satellitaire).

Les feuillets 1 : 20 000 en format vectoriel sont en Arc/Info .e00 et ils peuvent être facilement utilisés dans différents systèmes d'information géographique (SIG). Le format vectoriel contient des fichiers de lignes, de polygones et des annotations. Les fichiers des polygones contiennent une description de leur contenu selon les unités cartographiques d'origine (4301 unités cartographiques sont retrouvées dans les 52 études pédologiques officielles). Une base de données descriptives (classification taxonomique, modelé, classe de drainage, origine ou mode de dépôt du matériau parental, granulométrie, contact lithique, etc.) est associée au premier code de l'unité cartographique, mais des traitements utilisant l'ensemble des composantes d'unités cartographiques composées sont possibles. Les formats vectoriels sont disponibles au MAPAQ et à ses partenaires via son outil géomatique SIGMA ou disponibles à peu de frais à l'IRDA pour ceux qui ne sont pas partenaires du MAPAQ. Il faut consulter également les études pédologiques d'origine (rapports et cartes) puisqu'une généralisation a été effectuée et que celle-ci peut être une source de biais. Aussi, plusieurs limites de cartes entre différentes études n'ont pas été uniformisées (failles de cartes). Il serait nécessaire d'entreprendre un projet synthèse d'unification, de corrélation et de structuration informatique et géomatique des données pédologiques (séries, cartes, etc.) retrouvées dans les 52 études officielles du Québec, incluant des travaux sur le terrain et l'utilisation des techniques de cartographie numériques des sols (CNS-GSM) et d'outils informatiques cartographiques performants (par ex. : écran Planar 3D avec logiciel PurView et carnet de notes terrain avec GPS).

Les connaissances acquises sur la répartition et les caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques des sols naturels du Québec ainsi que leurs potentiels et leurs limitations ont nécessité de grands efforts de collecte de données sur le terrain et d'analyses de laboratoire. Connaître les sols : un préalable avant tous diagnostics, interventions ou aménagements de ceux-ci; une évidence dans d'autres domaines, mais un message continu à diffuser dans le cas des sols. Par ailleurs, débutés il y a plusieurs années, des travaux se poursuivent afin d'établir des liens entre les caractéristiques des sols, les cultures et le climat à des fins de fertilisation, d'amendements et de gestion des sols et bien sûr afin notamment de maintenir et d'améliorer la qualité de nos ressources en eau. Pour raffiner l'interprétation des essais de fertilisation, la connaissance du sol est nécessaire à l'échelle locale. Il faut continuer de conserver, mettre à niveau et à jour, d'acquérir, géoréférencer et modéliser les données sur les sols afin de mettre à la disposition de la collectivité un service d'information et d'aide à la décision accessible et compréhensible pour les nombreux utilisateurs et contribuer à maintenir et préserver les nombreux biens et services écologiques associés aux sols.

Baril, R.W. 1986. Historique de la pédologie, de la classification et de la cartographie des sols au Québec. Pages 3-24 dans "Rétrospective de la recherche sur les sols au Québec". M. C. Nolin (éd.). Cahiers de l'ACFAS no 37. 157 pages.

## **Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols : bilan de la campagne 1 (2000-2009) et perspectives pour la campagne 2 (2015-2026)**

**Claudy Jolivet<sup>1</sup>, Line Boulonne<sup>1</sup>, Céline Ratié<sup>1</sup>, Nicolas Saby<sup>1</sup>, Benoit Toutain<sup>1</sup>, Dominique Arrouays<sup>1</sup> et Marion Bardy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: INRA, US 1106 Infosol, F-45075 Orléans, France,

claudy.jolivet@orleans.inra.fr, line.boulonne@orleans.inra.fr, celine.ratie@orleans.inra.fr,  
nicolas.saby@orleans.inra.fr, benoit.toutain@orleans.inra.fr,  
dominique.arrouays@orleans.inra.fr, marion.bardy@orleans.inra.fr

Dans quel état sont les sols de France ? Comment évoluent-ils ? Les activités humaines sont-elles préjudiciables au maintien de la qualité des sols ? Pouvons-nous mesurer les impacts des politiques publiques agricoles, forestières et environnementales ? Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) a été conçu pour répondre à ces questions. Ce programme qui a démarré en 2000 avec la création du Groupement d'intérêt scientifique Sol (Gis Sol) et de l'unité InfoSol est l'un des programmes principaux coordonnés par InfoSol et financés par le Gis Sol. Il a pour objectifs d'évaluer l'état des sols français, de détecter précocément l'apparition d'évolutions et de suivre la qualité des sols français à long terme.

### **Un réseau de 2200 sites échantillonnés tous les quinze ans**

Le RMQS est constitué de plus de 2200 sites répartis sur le territoire métropolitain et ultramarin selon une maille de 16 km de côté. Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont réalisés tous les quinze ans sur chaque site. En métropole, la première campagne s'est étalée sur dix ans (2000-2009); la deuxième campagne est prévue sur douze ans (2015-2026). Outre-mer, la première campagne RMQS a démarré aux Antilles avec la Guadeloupe en 2006 et la Martinique en 2007. L'île de la Réunion et Mayotte ont été échantillonnées en 2012 et la Guyane le sera en 2014-2015. Chaque site du réseau fait l'objet de prélèvements d'échantillons de sol, d'une description du sol, d'observations environnementales et d'une enquête sur l'historique et les pratiques de gestion de la parcelle. Ces opérations sont encadrées par des protocoles précis (Jolivet *et al.*, 2006).

### **Une première campagne ciblée sur la contamination des sols**

La première campagne a permis de mesurer, de cartographier, de rechercher l'origine et les déterminants d'un grand nombre de paramètres du sol :

- contamination des sols en éléments traces (As, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Tl, Zn) (Saby *et al.*, 2009) et en contaminants organiques (HAP, PCB, dioxines, furanes, OCP, pesticides) (Villanneau *et al.*, 2013, Orton *et al.*, 2013),
- fertilité des sols : carbone organique (Martin *et al.*, 2012), azote total, phosphore assimilable et total, pH, éléments majeurs et échangeables (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na) (Arrouays *et al.*, 2011),
- biodiversité des sols, abordée par l'analyse de la biomasse microbienne moléculaire des sols et de sa diversité (Dequiedt *et al.* 2012).

Les résultats de cette campagne ont permis, pour la première fois en France, de publier en 2011 un état des lieux de la qualité des sols (Gis Sol, 2011). Un grand nombre de projets de recherche associés au RMQS depuis son démarrage ont permis d'acquérir ou de tester d'autres mesures sur l'ensemble ou sur un échantillon de sites du réseau, notamment grâce aux échantillons archivés par le Conservatoire européen d'échantillons de sols (Ratié *et al.*,

2010) : microorganismes pathogènes opportunistes (Locatelli *et al.*, 2013), faune du sol (Cluzeau *et al.*, 2012), mesures spectrales NIRS et MIRS (Grinand *et al.*, 2012), stabilité structurale, susceptibilité magnétique, glomaline, chlore, etc. Toutes ces données sont capitalisées dans le système d'information géré par l'unité dont fait partie la base de données DONESOL. Ce jeu de données a été enfin le support à de nombreux développements méthodologiques en analyse spatiale (voir références ci-dessous).

### **A partir de 2015, une nouvelle campagne de mesures**

Aujourd'hui, l'objectif du Gis Sol est de démarrer une nouvelle campagne pour mesurer l'évolution des sols français. Cette campagne sera basée sur un échantillonnage annualisé et sera menée dans le cadre d'un partenariat avec des pédologues régionaux. Elle permettra d'analyser l'évolution de la fertilité des sols et ses liens avec les modes de gestion qui seront à nouveau enregistrés. Axée sur la thématique du changement climatique, la campagne RMQS2 permettra de collecter des données nécessaires à la modélisation du fonctionnement des sols et leurs rôles dans les émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O), grâce à l'analyse de nouveaux paramètres (matières organiques particulaires, black carbon, test de réduction du N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub>). Par ailleurs, comme cela a été le cas dans la première campagne, les prélèvements et les analyses pourront être enrichis dans le cadre de nouveaux partenariats.

### **Références bibliographiques**

Arrouays, D., Saby, N., Thioulouse, J., Jolivet, C., Boulonne, L., Ratié, C. (2011). Large trends in French topsoil characteristics are revealed by spatially constrained multivariate analysis. *Geoderma*, 161, 107-114.

Cluzeau D., Guernion M., Chaussod R., Martin-Laurent F., Villenave C., Cortet J., Ruiz-Camacho N., Pernin C., Mateille T., Philippot L., Bellido A., Rougé L., Arrouays D., Bispo A., Pérès G. (2012) Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types, *European Journal of Soil Biology*, 49, 63-72

Dequiedt, S., Saby, N., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., Arrouays, D., Bispo, A., Lemanceau, P., Ranjard, L. (2011). Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (4), 641-652.

Gis Sol (2011). L'état des sols de France. Groupement d'Intérêt Scientifique Sol. <http://www.gissol.fr/RESF/>

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*, 63 (2), 141-151.

Jolivet, C., Boulonne, L., Ratié, C. (2006). *Manuel du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS)*. INRA

Locatelli A., Depret G., Jolivet C., Henry S., Dequiedt S., Piveteau P., Hartmann A. (2013) Nation-wide study of the occurrence of *Listeria monocytogenes* in French soils using culture-based and molecular detection methods. *Journal of Microbiological Methods* 93 (2013) 242–250

Martin, M., Wattenbach, M., Smith, P., Meersmans, J., Jolivet, C., Boulonne, L., Arrouays, D. (2011). Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences* (8), 1053-1065.

Orton, T., Saby, N., Arrouays, D., Jolivet, C., Villanneau, E., Marchant, B., Caria, G., Barriuso E., Bispo, A., Briand, O. (2013). Spatial distribution of lindane concentration in topsoil across France. *Science of the Total Environment*, 443, 338-350.

Ratié, C., Richer de Forges, A., Berché, P., Boulonne, L., Toutain, B., Saby, N., Chenu, J.-P., Laloua, D., Ortolland, B., Tientcheu Nguenkam, M.-E., Soler-Dominguez, N., Jolivet, C., Arrouays, D. (2010). Le Conservatoire des Sols : la mémoire des sols de France. *Etude et Gestion des Sols*, 17 (3), 263-273.

Saby, N., Thioulouse, J., Jolivet, C., Ratié, C., Boulonne, L., Bispo, A., Arrouays, D. (2009). Multivariate analysis of the spatial patterns of 8 trace elements using the French soil monitoring network data. *Science of the Total Environment*, 407, 5644–5652.

Villanneau, E., Saby, N., Orton, T., Jolivet, C., Boulonne, L., Caria, G., Barriuso, E., Bispo, A., Briand, O., Arrouays, D. (2013). First evidence of large-scale PAH trends in French soils. *Environmental Chemistry Letters*, 11 (1), 99-104.



## L'orientation du droit vers une définition fonctionnelle de la qualité des sols

DESROUSSEAUX Maylis<sup>1</sup>

1 : Institut de droit de l'environnement, Université Lyon III, 18 rue Chevreul, 69007, Lyon, maylis.desrousseau@univ-lyon3.fr

Un nombre important de pays d'Europe sont dotés soit d'une législation soit d'une réglementation relative à la protection des sols. Parfois un cadre spécifique a été créé, comme c'est le cas par exemple de l'Allemagne, la Suisse, la Belgique dans une certaine mesure ou les Pays-Bas. D'autres fois les dispositions relatives aux sols s'inscrivent dans une loi générale de protection de l'environnement. Mais peu disposent d'une loi générale de protection des sols, beaucoup se limitant à la gestion des sols pollués et ce pour des raisons plus sanitaires qu'écologique. En 1993, date à laquelle a été publié l'ouvrage traitant de *la protection juridique des sols dans les Etats membre de la communauté européenne*, Gérard Monédiaire tirait la conclusion suivante : il existe un nombre importants de textes ayant pour objet la protection des sols, mais ils ont pour la plupart été adoptés suite à la survenance d'une catastrophe et « des doutes ont pu être émis sur l'effectivité de certains dispositifs juridiques »<sup>1</sup>. Depuis, force est de constater que certains de ces dispositifs en question ont été améliorés et une lecture croisée nous offre une conception renouvelée de la notion de qualité des sols, fondée sur leurs caractéristiques pédologiques. Le fait est que la multifonctionnalité des sols est une idée largement diffusée et que l'idée selon laquelle les services écosystémiques des sols sont primordiaux précède les évaluations monétaires de leur destruction.

Des similitudes peuvent être observées à partir des différents textes de protection du sol, qu'il s'agisse de la législation relative aux sites et sols pollués ou d'une loi-cadre régissant tous les types de sols et leurs atteintes. Usuellement, elles s'expliquent par une transposition de directives européennes, ce qui ne s'applique pas au cas des sols, la Directive-cadre préparée en 2006 n'ayant toujours pas été adoptée. Nul doute que les textes aujourd'hui en vigueur dans certains Etats d'Europe soient le résultat de travaux communs qui ont mobilisé une pluralité de groupes de recherche et qui ont fortement orienté l'approche fonctionnelle proposée par l'Union européenne. En 1972, le Conseil de l'Europe donnait une première définition juridique du sol dans la Charte européenne des sols. Il plaçait en faveur de la reconnaissance du sol comme un « milieu vivant et dynamique ». Le sol devait alors être reconnu comme « une entité en lui-même »<sup>2</sup>, mais cette charte sera restée lettre morte. Elle aura pour le moins trouvé un écho dans les travaux de l'UICN. Aussi, a été mise sur pied une définition de la qualité des sols qui se fonde sur la notion « d'intégrité écologique du sol » dont les détails figurent dans le guide de l'UICN pour une législation sur la durabilité des sols<sup>3</sup>. Reconnaisant le rôle central des sols dans l'environnement, elle privilégie une approche intégrée en revendiquant « la préservation des écosystèmes, comprenant la

---

<sup>1</sup> M. PRIEUR (dir.), *La protection juridique des sols dans les états membres de la Communauté européenne*, PULIM, 1993, p. 189.

<sup>2</sup> Art. Premier de la Charte européenne des sols du 30 mai 1972.

<sup>3</sup> Traduit par nous, B. BOER, I HANNAM, *Drafting legislation for sustainable soils : a guide*, IUCN, Gland, Switzerland, Cambridge, UK, 2004, 112p.

prévention de la perte de l'intégrité, qui est le commencement de la dégradation du sol, le contrôle des dégradations existantes du sol et la protection et la gestion du sol pour garantir son utilisation durable »<sup>4</sup>.

Le protocole « Protection des sols » de la Convention alpine du 7 novembre 1991 est éloquent. Seul instrument juridique supra-étatique de protection de l'ensemble des sols d'un territoire, il offre une définition fonctionnelle des sols, en faisant référence à la conservation du sol « durablement dans toutes ses composantes. En particulier les fonctions écologiques du sol doivent être garanties et préservées à long terme qualitativement et quantitativement en tant qu'élément essentiel des écosystèmes (...)»<sup>5</sup>. L'adoption d'un tel protocole questionne d'un point de vue juridique sur la pertinence de l'idée de définir un champ d'action fondé sur des critères écologiques ou géographiques dans le cadre de la protection des sols. En effet, contrairement aux exemples usuellement avancés à l'encontre d'une entente internationale (notamment le principe de subsidiarité, dans le cadre de l'Union européenne), voire même nationale en ce domaine, les Etats frontaliers du massif alpins ont su s'entendre sur les objectifs de protection des sols. Leur démarche est révélatrice de la prise de conscience des menaces réelles qui pèsent sur les sols alpins et du rôle écologique qu'ils jouent dans le maintien de la qualité environnementale globale du massif. La réflexion tendant à la délimitation de zones révélant une cohérence pédologique ou bien une communauté d'intérêts liés à une menace particulière permettrait peut-être de dépasser les blocages actuels, qui laissent penser qu'une harmonisation de la notion de qualité des sols au sein de l'Union européenne est fortement compromise.

---

<sup>4</sup> B.BOER, I. HANNAM, *Legal and Institutional Frameworks for Sustainable Soils: A Preliminary Report*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 2002, p. 38.

<sup>5</sup> Art. 2, *ibid.*

## La diversité de perceptions de sols par les gestionnaires

*Auteurs : Camille Guellier (ADEME - camille.guellier@ademe.fr), Antonio Bispo (ADEME), Claire Chenu (AgroParisTech), Jurgis Sapijanskas (MEDDE)*

Nous présenterons la trajectoire du programme de recherche GESSOL<sup>1</sup> qui, réalisant que les résultats bio-physiques accumulés depuis sa création en 1998 ne suffisaient pas pour faire émerger une véritable gestion durable des sols, s'est ouvert en 2008 aux sciences humaines et sociales afin d'identifier les verrous juridiques, sociologiques et économiques à une utilisation durable de cette ressource. A partir de résultats issus du programme, nous illustrerons en particulier dans quelle mesure promouvoir ou accompagner des pratiques durables nécessite de comprendre comment cette ressource est perçue et caractérisée par les gestionnaires. Nous mettrons en regard la diversité des conceptions et perceptions du sol au sein et entre les milieux agricoles, péri-urbains et urbains en apportant des éclairages spécifiques sur:

- la conception **des sols agricoles et de leurs usages par des groupes d'agriculteurs**, selon qu'ils pratiquent une agriculture conventionnelle avec ou sans labour, ou encore une agriculture biologique (projet QueSacteS, coordonné par Claude Compagnone) ;
- l'appréhension des sols par les utilisateurs de **jardins familiaux collectifs en milieu urbain** qui apparaît très liée à l'histoire même de ces groupes (projet Jardins Familiaux, coordonné par Louiza Boukharaeva) ;
- la représentation culturelle et sociale du sol des **parcs et jardins**, portée par trois catégories d'acteurs (décisionnaires, agents en charge de la production et de l'entretien, usagers ; projet CESAT, coordonné par Didier Boutet) ;
- l'opinion et les connaissances des **sols urbains et péri-urbains** portées par des acteurs locaux (élus, techniciens et agriculteurs de deux municipalités) dans le cadre de projets **d'aménagement du territoire** (projet UQualisol-ZU, coordonné par Samuel Robert)

Pour une majorité d'usagers et des décideurs, le sol n'apparaît qu'au travers des usages qu'il rend possibles, éventuellement d'une valeur foncière, économique ou patrimoniale. Les services rendus à la société par les sols sont alors définis, non pas à partir du sol lui-même qui reste une abstraction, mais à partir de ce que les sols et leurs qualités naturelles ou artificielles rendent possible comme activités économiques, sociales et culturelles (valeur d'usage).

Nous discuterons des pistes d'améliorations pour la gestion apportées par ces projets particuliers et, plus généralement, des perspectives de thèmes et de modalités de recherches en appui aux politiques publiques ouvertes par la nouvelle orientation du programme dans son ensemble.

Mots-clés : Perceptions, sociologie, acteurs, usagers des sols

---

1 Programme de recherche GESSOL « fonctions environnementales et gestion du patrimoine sol » du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie; [www.gessol.fr](http://www.gessol.fr)

## Exemples d'utilisation de bases de données sur les sols au service des politiques publiques

Bertrand LAROCHE(1), Marion BARDY (1), Christine LE BAS (1), Catherine LE BARH (1), Sybille SLATTERY-OETTINGER (3), Emmanuel THIRY (2), Sandrine LEMENAGER (3)

(1) INRA, US1106, InfoSol, F-45075 Orléans, France

(2) MEDDE, Direction de l'eau et de la biodiversité

(3) MAAF, Direction générale des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires

Les sols sont de plus en plus intégrés dans les politiques publiques agricoles ou environnementales. Des textes réglementaires ayant une base pédologique ont été développés récemment au niveau européen ou français. Leur application nécessite l'utilisation de données pédologiques spatialisées couvrant l'ensemble du territoire national.

Depuis sa création en 2001, le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) coordonne le programme national de cartographie des sols français, Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) dont un des volets concerne la cartographie régionale à 1/250 000 (Référentiels Régionaux Pédologiques). Actuellement, seule la Base de Données Géographique des Sols de France (BDGSF) à 1/1 000 000 couvre l'ensemble du territoire national métropolitain mais sa faible résolution tant sémantique que spatiale ne permet de répondre que partiellement aux besoins des politiques publiques. Les Référentiels Régionaux Pédologiques d'une qualité supérieure sont de plus en plus mobilisés par les politiques publiques au niveau national même si elles ne couvrent pas encore tout le territoire métropolitain. Nous présenterons deux exemples montrant comment les données du GIS Sol ont pu être mobilisées dans un cadre réglementaire : la délimitation des zones humides et la délimitation des zones défavorisées simples.

### - Les zones humides

Les zones humides interviennent dans la régulation des crues, la limitation de l'érosion, l'épuration des eaux ou le stockage du carbone. Les zones humides naturelles ou semi-naturelles présentent une grande richesse d'habitats et d'espèces, souvent rares ou menacées. Compte-tenu de la richesse des services qu'elles rendent la préservation des zones humides constitue aujourd'hui un enjeu fort à l'échelle internationale (ce sont ainsi les premiers et seuls milieux à avoir bénéficié d'une convention internationale, la Convention de Ramsar), considéré comme « d'intérêt général » par la loi française (code env., art. L. 211-1-1). Deux

plans nationaux d'action en faveur des zones humides ont été mis en place successivement en 1995 et en 2010 par le ministère chargé de l'écologie, et de nombreux outils contribuent à la préservation des zones humides : SDAGE, SAGE, etc.

L'ensemble de ces politiques et outils nécessite de localiser, et donc de cartographier les zones humides. L'arrêté du 24 juin 2008 modifié le 1<sup>er</sup> octobre 2009, applicable en France métropolitaine et en Corse, précise les différents critères de définition et de délimitation des zones humides : à partir du sol, de la végétation ou des habitats. Des zones peuvent être humides sans présenter de végétation ou d'habitats spécifiques de zones humides. L'identification des zones humides à partir des sols est donc de première importance.

La cartographie des zones humides selon le critère sol de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié se déroule en plusieurs étapes, dont la première consiste généralement à examiner les cartes pédologiques existantes. Compte-tenu de la présence dans les bases de données au format DoneSol des informations utilisées dans l'arrêté pour définir les sols de zones humides, il est possible de développer des requêtes pour identifier au sein des cartes pédologiques les sols de zones humides. A partir de l'extraction des bases de données, il est possible d'identifier les sols de zones humides et de les spatialiser par la représentation des Unités Cartographiques de Sols.

#### - Les Zones Défavorisées Simples

Les Zones Défavorisées Simples sont issues d'un zonage européen lié à la Politique Agricole Commune. Elles concernent des zones délimitées sur la base de critères socio-économiques et bénéficient d'aides spécifiques pour favoriser le maintien de l'agriculture dans ces zones. Suite à un rapport de la Cour des Comptes critiquant la disparité des méthodes utilisées par chaque Etat-membre pour définir ces zones et parfois leur non pertinence, la Commission européenne a souhaité redéfinir ce zonage sur des critères biophysiques objectifs de différentes natures : climatique, pédologique et topographique. Cette réforme des critères utilisés pour définir les zones désormais appelées zones soumises à des contraintes naturelles est inscrite dans le règlement relatif au développement rural 1305/2013 du 17 décembre 2013. Chaque Etat-membre doit définir ces zones en s'appuyant sur les critères biophysiques figurant à l'annexe III de ce règlement. Aux communes classées par les critères biophysiques,, est ensuite appliqué un critère de "réglage fin" (critères socio-économique) pour vérifier que la commune n'a pas surmonté son handicap. La réalisation du zonage est laissée à l'initiative de chaque état membre. Dans ce cadre, les données du GIS Sol ont été largement mobilisées. L'utilisation de la BDGSF a permis d'apporter un premier éclairage national en appui aux négociations avec la Commission Européenne. Puis des tests sur certaines régions avec des Référentiels Régionaux Pédologiques ont montré l'intérêt majeur de ces RRP dans la réalisation du zonage ce qui a permis une accélération de ces inventaires pédologiques par la mobilisation de crédits supplémentaires. Le zonage définitif s'appuiera donc sur les RRP en combinaison avec des données climatiques, topographiques et agricoles.

## **Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine – application du bassin minier de Provence**

**KELLER Catherine<sup>1</sup>, ROBERT Samuel<sup>2</sup>, LAMBERT Marie-Laure<sup>3</sup>, AJMONE-MARSAN Franco<sup>4</sup>, AMBROSI Jean-Paul<sup>1</sup>, BIASIOLI Mattia<sup>4</sup>, CRICQUET Stéven<sup>5</sup>, RABOT Eva<sup>1,6</sup>**

<sup>1</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, Collège de France, IRD, CEREGE, UMR 7330, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, BP 80, 13545 Aix-en-Pce, Cedex 4 ; [keller@cerege.fr](mailto:keller@cerege.fr), [ambrosi@cerege.fr](mailto:ambrosi@cerege.fr)

<sup>3</sup>Aix-Marseille Université, CEJU-LIEU, 2 av. Henri Poncet, 13100 Aix-en-Provence ; [ml.lambert@wanadoo.fr](mailto:ml.lambert@wanadoo.fr)

<sup>2</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, ESPACE, UMR 6012, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, BP 80, 13545 Aix-en-Pce, Cedex 4 ; [samuel.robert@univ-amu.fr](mailto:samuel.robert@univ-amu.fr)

<sup>4</sup>Università di Torino, DI.VA.PRA, via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco, I ; [franco.ajmonemarsan@unito.it](mailto:franco.ajmonemarsan@unito.it), [mattia.biasioli@unito.it](mailto:mattia.biasioli@unito.it)

<sup>5</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, IMBE, UMR 7263, case 452, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, UPCAM, 13397 Marseille, Cedex 20 ; [steven.cricquet@imbe.fr](mailto:steven.cricquet@imbe.fr)

<sup>6</sup>INRA, UR Sols 0272, 2163 av. de la pomme de pin, CS 40001 Ardon, 45075 Orléans, Cedex 2 ; [Eva.Rabot@orleans.inra.fr](mailto:Eva.Rabot@orleans.inra.fr)

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 anthropo-systèmes, 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.

Le projet avait 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).

L'étude a été menée sur 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). Un indice de polyvalence d'usage des sols a été développé à partir d'un

constat portant sur le besoin de connaissance sur les sols afin de mener à bien une politique d'urbanisme respectueuse des fonctions des sols. 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 et met en évidence la nécessité d'évaluer la qualité des sols dans les espaces intra-urbains.

## **Aptitude d'un territoire à l'assainissement non collectif (ANC) : indicateurs SPU (sol – parcelle – usager)**

**FOUCHÉ Olivier<sup>1 et 2</sup>, NASRI B. <sup>1 et 2</sup>, VIDAL N.<sup>3</sup>, SAILLÉ Ch. <sup>2</sup>, SEIDL M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Université Paris-Est – Ecole des Ponts ParisTech – AgroParisTech, LEESU, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, 6 et 8, avenue Blaise Pascal - Cité Descartes, F 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2, [olivier.fouche@leesu.enpc.fr](mailto:olivier.fouche@leesu.enpc.fr)

<sup>2</sup> : Conservatoire national des Arts et Métiers, ICENER, 2 rue Conté, 75003 Paris.

<sup>3</sup> : IRSTEA, EPNAC, 5 rue de la Doua - CS 70077 - 69626 Villeurbanne cedex.

### **Introduction et objectif**

L'assainissement non collectif (ANC) fait appel au sol pour ses fonctions épuration, rétention et évacuation à l'égard des eaux usées. La prise en compte de la structure des sols et de leurs propriétés texturales et hydrauliques contrôlant ces trois fonctions en ANC est indispensable à la compréhension et à la gestion des flux participant à la qualité des eaux souterraines et superficielles. Des indicateurs de l'aptitude du sol à l'ANC sont nécessaires, tout spécialement pour l'évacuation des eaux traitées, mal prise en compte à ce jour.

Du point de vue de l'utilisateur du dispositif et usager de l'ANC, les trois fonctions définies envers les eaux usées peuvent entrer en conflit d'usage avec des fonctions de la parcelle : récréation, plantation, occupation, circulation... Tenter de les concilier n'est pas l'affaire de l'usager seul : le service public de l'ANC (SPANC) partage avec lui la charge du pilotage des fonctions du sol pour l'ANC et intervient sur la parcelle pour définir son aptitude.

Réduire l'impact sanitaire et environnemental est l'objectif affiché dans la mise en œuvre de la réglementation. De la méfiance entre l'habitant et le législateur sur la justification de l'ANC, peut naître une certaine conflictualité entre l'habitant et le SPANC. La compréhension du point de vue et de la perception de l'usager est donc nécessaire pour la mise en œuvre des missions des SPANC. L'aptitude de l'usager à piloter l'ANC est aussi importante que celle des sols dans l'évaluation de la faisabilité et de la durabilité de l'ANC.

Pour chacune des deux aptitudes étudiées, sol et usager, une série d'indicateurs est proposée et un système de notation a été élaboré, ce qui débouche sur deux classifications d'aptitude indépendantes. La classification d'aptitude du sol a été conçue de façon à intégrer des indicateurs d'aptitude de la parcelle.

L'objectif est de proposer une méthode pour croiser des indicateurs physiques et sociotechniques et en déduire un indicateur intégratif de l'aptitude à l'ANC sur un territoire. On appelle cette problématique « l'aptitude SPU » (sol – parcelle – usager).

### **Méthodologie d'évaluation de l'aptitude du sol**

C'est la double-fonction du sol « évacuation et affinage par infiltration des eaux usées traitées » qui permet, si elle est suffisante, d'envisager le sol comme un milieu récepteur d'ANC. Choisir des indicateurs d'aptitude pour cette double fonction est l'objectif que l'on s'est fixé. Parmi une batterie de paramètres et de protocoles, on en a sélectionné certains comme indicateurs. Cette sélection se veut généralisable au-delà du territoire d'étude. Ainsi, on propose : la teneur en eau résiduelle (par étuvage), la texture des particules fines (par densimétrie : Argile, < 2 microns ; Limon, 2-50 microns ; Sable, > 50 microns ; figure 10), la teneur en carbonate de calcium (par calcimétrie), la teneur en matière organique (par calcination), les limites de consistance (essai d'Atterberg), la surface spécifique du sol (par adsorption du bleu de méthylène, méthode de la tâche), et la conductivité hydraulique du sol (par l'appareil Guelph). Ils sont au nombre de 7. On établit d'abord une notation pour chaque



indicateur. Puis, est proposé un système de notation de chaque fonction du sol par combinaison d'indicateurs. Enfin, on fait une classification de l'aptitude du sol, propre à chaque service : 3 à 6 classes par service rendu par le sol (affinage, évacuation profonde...).

### **Méthodologie d'évaluation de l'aptitude de l'utilisateur**

C'est au moyen d'enquêtes en vis-à-vis ou par voie postale, et d'entretiens semi-directifs, que nous avons abordé l'aptitude de l'utilisateur. Deux questionnaires ont été élaborés pour évaluer d'une part la perception des fonctions et des usages du sol par le particulier, d'autre part le rapport entre l'utilisateur et son système d'ANC. Ces questionnaires ont été testés sur deux territoires dans l'Yonne et en Seine-et-Marne. Suite à une première interprétation (Fouché et al. 2011, 11<sup>èmes</sup> JES), les questionnaires ont été revus de façon à ce que les items contribuent à former des indicateurs sociotechniques de l'aptitude de l'utilisateur à piloter les fonctions du sol. La typologie des questions distingue 4 champs : Connaissance, Opinion, Perception, Comportement. Chaque utilisateur aura une note par champ. Illustrons la méthode par la note de perception de l'utilisateur, qui pour être pertinente à l'égard de la gestion du sol et de l'ANC, devra contenir deux composantes : la note (PE) de perception de l'environnement et du sol, et la note (PA) de perception du dispositif d'ANC.

La note de perception PE est construite avec 9 questions notées de 0 à 3 pt chacune, avec cependant parmi elles, des questions plus radicales (O / N / NSP) où la note 2pt n'existe pas et qui a tendance à séparer des groupes d'utilisateurs plus nettement. Au total, un répondant peut atteindre  $9 \times 3 = 27$  pts et 5 classes sont formées par intervalles entre 0 et 27.

Cette note contient : l'impression d'éloignement ou de proximité de l'environnement, la définition de l'environnement (lieu de vie ou la nature ?) ; la sensibilité aux problèmes de l'environnement sur une échelle ; la demande d'information sur les étiquettes des produits achetés, qui exprime l'attention accordée à leur impact sur l'environnement et en même temps la confiance en la parole publique ; le besoin d'espace et de sol pour vivre et le sentiment de sa valeur ; la crainte de l'usure du sol, de sa détérioration dans le temps, et la responsabilité individuelle dans la transmission ; la conscience du risque de polluer le sol.

La note de perception PA est construite avec 14 questions notées de 0 à 3 pt chacune, avec parmi elles, des questions plus radicales. Là aussi, il est aisé de distinguer 5 classes d'utilisateurs sur ce critère, depuis « utilisateur très favorable » à « pas du tout favorable » au pilotage des fonctions du sol en ANC.

Cette note contient : la satisfaction de son dispositif actuel et d'avoir réhabilité son ANC ; la conscience de l'utilité des éléments qui sont maintenant installés ; la confiance dans les acteurs de l'ANC pour que le traitement des eaux usées fonctionne bien à long terme sans risque pour l'environnement ; la conscience de l'impact de la négligence de l'entretien comparée à d'autres comportements négligents ; l'impression globale d'incompatibilité avec les autres usages du sol sur la parcelle ; la réticence au pilotage (le pire étant le refus de la contrainte d'entretien) ; la conscience de l'impact environnemental de l'ANC et son échelle ; la confiance dans la technologie pour éliminer les polluants domestiques émergents ; l'importance du dispositif de traitement dans la maison par rapport à d'autres éléments.

### **Résultats**

L'intégration entre la classification d'aptitude orientée utilisateur et celle orientée sol sera effectuée à travers un SIG accessible à tous dans une démarche participative, dont le prototype a été créé et qui aidera les collectivités et les organes de financement à planifier et à territorialiser la gestion de l'ANC. On peut aussi utiliser les deux familles d'indicateurs, physiques et sociotechniques, comme des paramètres d'état et les croiser pour obtenir une note d'aptitude. Pour effectuer ce croisement des notes, les règles ne sont pas évidentes à fixer : elles doivent être discutées au cours du séminaire du projet qui réunira les acteurs du 13 au 15 juin 2014 à Auxerre. Les résultats seront communiqués lors des JES 2014 à Chambéry.

**Mots clés** : épuration, rétention, évacuation, eaux usées, texture, perception, SPANC.

## **Comment s'assurer de la qualité d'une base de données géochimique collectée dans le cadre de l'application d'une réglementation concernant la protection des sols ?**

**Benoît PEREIRA<sup>1</sup>, Aubry VANDEUREN<sup>1</sup>, et Philippe SONNET<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute - Environmental sciences  
Croix du Sud 2/10, 1348 Louvain-la-Neuve, BELGIUM, benoit.pereira@uclouvain.be,  
aubry.vandeuren@uclouvain.be, philippe.sonnet@uclouvain.be

En Wallonie (Belgique), la mise en application de réglementations environnementales impliquant la réalisation d'analyse de sols a conduit l'administration régionale à la mise en place de base de données d'analyses de sols à des fins de gestion. Ainsi, la base de données CAPASOL est constituée par les analyses de sol des parcelles qui ont fait l'objet d'une demande d'autorisation d'épandage de boues de station d'épuration à l'administration. La réglementation sur la valorisation agricole des boues impose en effet de réaliser une analyse de sol préalablement à l'épandage, afin de vérifier si la parcelle répond à la norme de qualité pour les sept éléments traces métalliques (ETM). L'administration régionale a souhaité valoriser la base de données CAPASOL pour le développement d'outils de gestion, comme des cartes de concentrations de fond, ou des cartes anticipant la nécessité d'imposer une analyse de sol avant l'épandage de boues étant donné les concentrations de fond et le niveau des normes de la réglementation.

Cependant, exploiter une base de données du type de CAPASOL pour le développement d'outils de gestion peut s'avérer une tâche délicate, car l'on ne dispose généralement pas d'information sur la qualité des données. En effet, les analyses de la base de données peuvent avoir été réalisées non seulement par différents laboratoires mais également à différents moments sur des périodes de temps s'étendant sur plusieurs années à plusieurs dizaine d'années. Bien que ces laboratoires possèdent souvent différentes accréditations attestant le suivi de normes de qualité (ISO, etc.), l'expérience montre que la précision et l'exactitude des mesures varient souvent dans le temps. Ce constat s'explique parfois par des changements d'analyste, dans le matériel analytique, ou dans des détails du protocole d'analyse.

Dans ce travail, nous présentons des méthodes que nous avons développées pour s'assurer de la qualité des données lorsqu'on est en présence de ce type de situation. Ces méthodes permettent d'écarter les éventuelles données non fiables de la base de données et de corriger les éventuels biais inter-laboratoires. Ces méthodes seront illustrées pour le cas de la valorisation de la base de données CAPASOL pour l'établissement de cartes de concentrations de fond en Wallonie. Les méthodes ont été développées pour les analyses de sol de type « éléments traces métalliques » en Région wallonne, mais elles pourraient être adaptées pour d'autres régions ou d'autres types d'analyse de sol.

## Vers une méthodologie d'harmonisation des Référentiels Régionaux Pédologiques par cartographie numérique : l'exemple de l'Eure-et-Loir et du Loiret

**FOURVEL Gaëtan<sup>1</sup>, LAROCHE Bertrand<sup>1</sup>, SABY Nicolas P.A.<sup>1</sup>, MARTIN Manuel<sup>1</sup>, RICHER de FORGES Anne C.<sup>1</sup>, GIROT Ghislain<sup>1</sup>, ARROUAYS Dominique<sup>1</sup>, LEHMANN Sébastien<sup>1</sup>, BARDY Marion<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Unité InfoSol, US 1106, INRA, CS 40001 Ardon, Orléans cedex 2, France, gaetan.fourvel@orleans.inra.fr

Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) conduit par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) depuis sa création en 2001 (Arrouays *et al.*, 2004) comporte trois volets dont celui des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP) qui constitue aujourd'hui la priorité nationale. Ce volet vise à produire une couverture pédologique harmonisée au format DoneSol au 1/250 000<sup>ème</sup> disponible sur la France entière.

La constitution des Référentiels Régionaux Pédologiques a été confiée à différents partenaires régionaux (Chambres d'agriculture, associations, conservatoires d'espaces naturels, Ecoles Nationales supérieures d'Agronomie...). La durée du programme, plus de 25 ans, et la pluralité des auteurs a entraîné des incohérences d'ordre graphique et sémantique entre les RRP contigus. Or l'objectif final est de disposer d'une couche harmonisée sur la France entière pour une utilisation dans de nombreux domaines d'application impliquant des données pédologiques à l'échelle du territoire comme, par exemple, la délimitation des Zones Soumises à des Contraintes Naturelles (CCE, 2006) ou encore celle des zones humides potentielles.

Il a donc été choisi de construire une méthodologie générale d'harmonisation applicable à bon nombre de RRP. Cette dernière est soumise à différentes contraintes. Tout d'abord elle doit permettre de corriger toutes les incohérences graphiques (couche SIG) et sémantiques (base de données DoneSol) observables entre deux RRP contigus. Elle doit également être applicable à l'ensemble du territoire et conserver un maximum d'objectivité, c'est-à-dire ne pas privilégier les UCS d'un RRP par rapport à un autre. Enfin, il faut qu'elle minimise les coûts en étant rapide et en minimisant l'intervention dans la base de données par des experts pédologues et les retours sur le terrain.

Au vu de la problématique d'harmonisation, deux choix méthodologiques sont possibles. Le premier est dit de manière « experte », il consiste à demander aux pédologues ayant réalisé les RRP (ou à des experts connaissant bien la zone) d'harmoniser les cartes en se penchant sur chaque incohérence pour rétablir une continuité pédologique au-delà des limites administratives. Mais cette méthode répond assez mal aux contraintes imposées à savoir la généralité et la rapidité de la méthode. C'est pourquoi nous nous sommes concentrés sur la seconde possibilité qui s'appuie sur le concept de cartographie numérique ou Digital Soil Mapping (DSM). Cette méthode repose sur des algorithmes statistiques permettant de décoder les lois de distribution de sols utilisées implicitement par les pédologues cartographes. Ces lois sont établies par des modèles de classification (arbres de classification...) qui utilisent une zone de référence pédologique couplée à différents facteurs pédogénétiques descripteurs du milieu naturel et aisément appréhendables (Laroche *et al.*, 2011). Ces facteurs de différenciation des sols, ou covariables, peuvent être regroupés en sept catégories présentées par la fonction générique de McBratney *et al.* (2003) :  $S_c = f(s, c, o, r, p, a, n)$  où  $S_c$  est la classe de sol ou le type de sol,  $s$  les informations pédologiques en certains points,  $c$  le climat,  $o$  l'influence des activités biologiques (flore, faune, humain),  $r$  la topographie,  $p$  les matériaux parents,  $a$  l'âge des formations pédologiques et  $n$  la position spatiale. Une fois les lois de distribution des sols connues, il est possible de les appliquer à

de nouvelles zones sans connaissance pédologique à condition que l'ensemble des covariables employées pour définir ces lois soient disponibles sur cette zone et que ces lois soient valides sur ces nouvelles zones.

Dans le but de mettre en pratique le potentiel de la cartographie numérique pour l'harmonisation des RRP, nous avons testé différentes méthodes et modèles de cartographie numérique sur une zone test composée de deux RRP contigus : le Loiret (Richer de Forges, 2008) et l'Eure-et-Loir (Giro, 2012).

Deux hypothèses de départ ont été formulées :

- Seules les Petites Région Naturelles (PRN) communes aux deux RRP tests ont été considérées (Grande Beauce et Petite Beauce), les autres étant considérées comme indépendantes. Cette hypothèse permet également de minimiser l'impact des modifications occasionnées par le processus d'harmonisation sur les RRP.
- Les deux RRP sont de qualité égale, ce qui exclut de privilégier un RRP plutôt qu'un autre *a priori*.

Plusieurs stratégies sont envisagées pour répondre à l'objectif de cette étude. Parmi celles-ci, il semble intéressant d'utiliser les techniques de DSM pour formaliser un compromis graphique entre les deux découpages cartographiques sur la PRN sélectionnée. Cette méthode consiste à faire apprendre le modèle statistique sur les deux cartes en même temps afin de prédire des UCS sur la frontière. Un autre point important consiste à produire plusieurs indicateurs quantitatifs permettant de rapprocher des UCS de part et d'autre de la frontière. Ainsi il est possible d'identifier des couples d'UCS statistiquement similaires mais provenant initialement de RRP différents. Ces indicateurs peuvent être extraits de la matrice de confusion issue de l'étape d'apprentissage du modèle statistique.

Cette communication a deux objectifs : (1) présenter les principes et les résultats des différentes méthodes d'harmonisation par cartographie numérique envisagées pour répondre à la problématique en prenant pour exemple deux RRP tests (Eure-et-Loir et Loiret) et (2) définir la méthodologie d'harmonisation complète la plus adaptée.

Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D. et P. Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France - Vol.11(3) – p 187 à 198

CCE, 2006 - Proposition de directive européenne et du conseil définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE. COM, 232 final, 31 p

Giro G., 2012 - Référentiel régional pédologique de la région centre, Carte des pédopaysages de l'Eure-et-Loir échelle 1/250 000. INRA

Laroche B, Arrouays D., Olivier et Lecerf N., 2011, essais de cartographie numérique des pédopaysages à 1/ 250 000 dans les départements de l'Aube et de la Marne, enseignements, limites et perspectives – étude et Gestion des sols, Volume 18, 1, p17 à 31.

McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B., 2003 - On digital Soil mapping. Geoderma, 117, p 3 à 52

Richer de Forges A.C., 2008 - Référentiel régional pédologique de la région centre, Carte des pédopaysages du Loiret échelle 1/250 000 (base de données en format DoneSol2 et notice explicative : 278 pages). INRA InfoSol.

## **Le Système d'Information Décisionnel Sol : une architecture informatique décisionnelle au service de la diffusion des données du GISSOL.**

**Toutain B.F.P.<sup>1</sup>, Saby N.P.A.<sup>1</sup>, Chenu J.P.<sup>1</sup>, Martin M.P.<sup>1</sup>, Millet F.<sup>1</sup>, Paroissien J.B.<sup>1</sup>, Bardy M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : INRA, Unité Infosol, US1106, Orléans, France

Le cadre réglementaire de la directive INSPIRE et la montée en puissance des données libres conduisent les producteurs de données à réfléchir à des politiques de diffusion. Avec la prise de conscience de l'importance des services éco systémiques rendus par les sols, les données produites par le GIS Sol sont au cœur de cet enjeu. Pourtant, la diffusion de la donnée sur les sols se heurte à deux obstacles de nature informatique et thématique. Premièrement, les utilisateurs sont en effet généralement à la recherche de données faciles à appréhender, directement extractibles et aisément exploitables. Hors, les bases de données sont structurées de manière à assurer l'intégrité et l'unicité des données. L'utilisation généralisée des formes normales, qui sont des techniques de modélisation destinées à optimiser le stockage des informations, a pour conséquence de complexifier fortement les opérations d'extraction et contraint les utilisateurs des différentes communautés scientifiques à un apprentissage long pour la mise en forme des données. Deuxièmement, le sol étant à l'interface entre la lithosphère, la biosphère et l'atmosphère, l'interprétation des données sur les sols implique l'utilisation conjointe des données émanant de ces trois domaines. L'expérience montre que la préparation des données en vue de traitements statistiques ou de l'utilisation de modèles prend un temps non négligeable.

L'architecture décisionnelle est de nature à lever ces verrous. Il s'agit d'une organisation de composants informatiques qui permet de mobiliser des données brutes de différentes sources, de leur appliquer des règles métiers de transformation et de les restituer sous une forme d'information exploitable. Elle permet ainsi de déporter la mise en forme des données du côté du producteur et d'obtenir directement des données multi-sources. Cette architecture s'inscrit pleinement dans une démarche qualité car les informations ont subi des contrôles et sont reproductibles, historisables et pleinement décrites par des métadonnées.

Au sein du GIS Sol, l'architecture décisionnelle est décrite dans l'illustration 1.

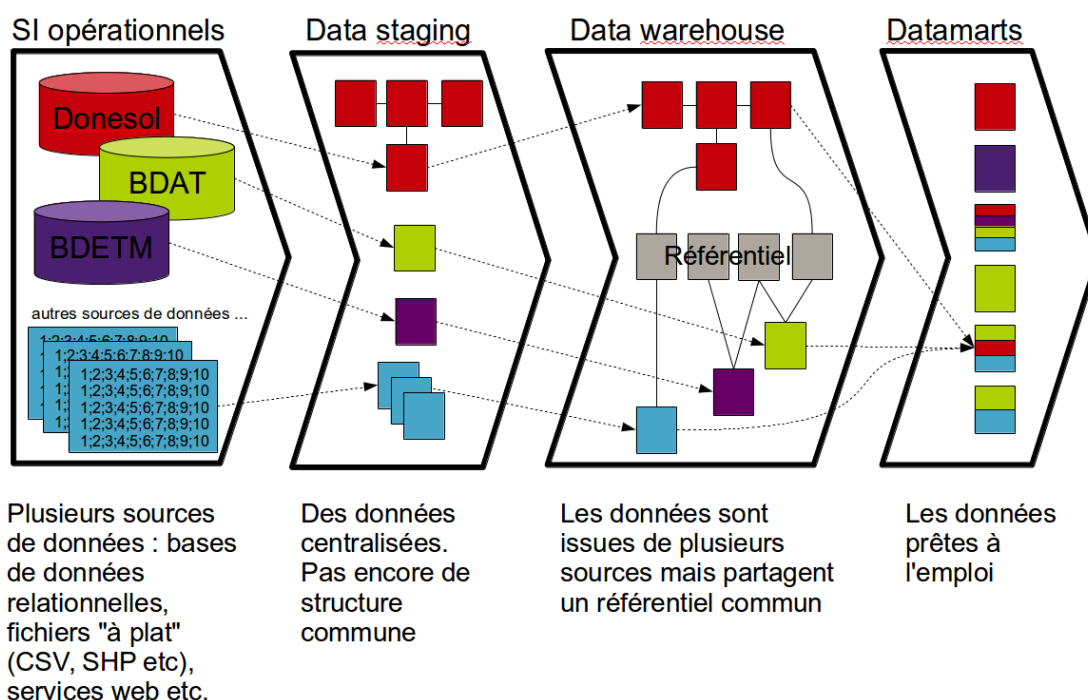


Illustration 1: l'architecture décisionnelle d'Infosol

Les systèmes d'information opérationnels contiennent à la fois les bases de données servant à collecter et stocker les données obtenues dans le cadre des programmes d'acquisition du GIS Sol (IGCS, RMQS, BDAT, BDETM) et d'autres sources de données telles que l'occupation du sol Corine Land Cover, des séries de données climatiques, des données administratives etc.

Ces données sont placées dans une structure intermédiaire appelée data staging qui permet de les centraliser et de ne pas travailler directement sur les bases de données en production.

L'entrepôt de données ou data warehouse relie à un référentiel commun les données transférées depuis le data staging. Il est structuré en faits correspondant aux observations sur les sols et en dimensions qui sont les axes d'analyse retenus. Pour les sols, les observations sont rattachées d'une part à un référentiel en quatre dimensions (un référentiel géographique x,y,z et le temps) et d'autre part à des données de référence de nature thématique (type de sol et d'horizon, entité administrative, occupation du sol).

Une fois mises en relation, les données sont filtrées, traitées et agrégées dans des magasins de données ou datamarts. Chacun de ces datamarts répond à un besoin exprimé par les utilisateurs. On trouve par exemple parmi ces besoins diffusion des résultats de la première campagne du RMQS, des statistiques issues de la base de données d'analyse de terre et également des estimations statistiques des teneurs habituelles en éléments trace métalliques. Les datamarts sont alors directement interrogeables à travers des services web (geoserver.gissol.fr), des logiciels client de base de données (e.g. pgAdmin3, ODBC), ou des applications web (e.g. bdat.gissol.fr). Ils peuvent également être publiés sur des portails de diffusion généralistes tels que pangaea.de.

Cette architecture a fait ses preuves au niveau local puisqu'elle permet le partage des données au sein de l'unité Infosol. Elle est amenée à se développer avec l'augmentation du nombre de datamarts disponibles et du nombre d'utilisateurs extérieurs venant consulter les

données. Elle sert de support à la production en masse de données statistiques et pourrait permettre l'interopérabilité des données Sol avec les plateformes de modélisation de l'INRA.

## **Appicasol, un outil de partage des applications thématiques à partir des données sol**

**GIROT Ghislain<sup>1</sup>, MILLET Florent<sup>1</sup>, SCHNEBELEN Nathalie<sup>1</sup>, BARDY Marion<sup>1</sup>, LAROCHE Bertrand<sup>1</sup>, EZZAYANI Fatima<sup>1</sup>, HELIES Florence<sup>1</sup>, GUELLIER Camille<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : INRA US1106, InfoSol, F-45075 Orléans, France, ghislain.girot@orleans.inra.fr

Les bases de données géographiques sur les sols offrent un potentiel d'application très large, que le RMT « Sols et Territoires » souhaite capitaliser et diffuser au travers de l'outil Appicasol.

La majorité des régions françaises dispose actuellement de bases de données cartographiques sur les sols (Référentiels Régionaux Pédologiques notamment), gérées sous Système d'Information Géographique et Systèmes de Gestion de Base de Données. Les données géographiques sur les sols combinées à d'autres informations (climat, relief, occupation du sol, pratiques agricoles, etc.) offrent une gamme d'applications thématiques très étendue (Le Bas *et al.*, 2004 ; Le Bas et Schnebelen, 2006) : gestion et protection des sols, gestion du territoire, aménagement, zonages, préservation de la biodiversité, etc.

De nombreux maîtres d'ouvrages régionaux ont ainsi réalisé de telles applications, en réponse à des enjeux et des demandes exprimées localement. La complexité des méthodes de traitement mises en œuvre est variable, allant, entre autres, de la simple extraction et traitement de données sols en passant par l'élaboration de règles de pédotransfert jusqu'à la mise en place de modèles plus ou moins complexes intégrant des variables non-sol. De ce fait, l'investissement méthodologique est souvent lourd pour l'organisme chargé d'étude.

Dans ce contexte, le RMT « Sols et Territoires » s'est donné pour objectif de mettre en commun les expériences d'applications thématiques élaborées sur différents territoires français et de les rendre accessibles à tous les utilisateurs de bases de données sols. C'est dans ce sens qu'Appicasol, système d'information référençant et facilitant la mise en commun de l'ensemble des applications thématiques, a été créé.

Ce projet a plusieurs objectifs. Dans un premier temps, il a fallu effectuer l'inventaire des applications réalisées à partir des bases de données cartographiques sur les sols dans les régions en disposant. Cet inventaire a été réalisé en exploitant les informations disponibles à la suite de plusieurs enquêtes successives réalisées par l'Unité InfoSol de l'INRA d'Orléans en 2004, 2006 et 2008 ainsi qu'en réalisant une enquête auprès des futurs utilisateurs de cette base de données afin d'en définir clairement les spécifications.

Dans un second temps, une base de données associée à des interfaces web a été conçue (figure 1), facilitant la mise en commun des méthodes mises en œuvre et des applications développées. Cette base de données répond aux spécifications définies suite à l'enquête, tant en termes techniques (structure de la base, choix du système de gestion de base de données, modalités de saisie et



d'interrogation) que scientifiques (logique scientifique dans la structure et les relations de la base, validité scientifique du contenu de la base de données).

**APPLICASOL** ghislain.girot@orleans.inra.fr

**Saisir une application** Saisir une méthode

**1. Données générales sur l'application**

ID app.

Applications thématiques

Id	Titre	Année	Détail méthode
1	Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits pl	2004	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Schéma de vocation des territoires agricoles et forestiers du Rhône	1994	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Cartographie du choix du porte-greffe adapté aux terroirs viticoles du Beaujolais	2001	<input type="checkbox"/>
4	Faisabilité de la réintroduction du lapin de garenne en fonction des sols	2001	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Aptitude des sols à l'épandage des effluents agricoles et domestiques sur le Parc Naturel	1998	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Carte des sols simplifiée et adaptée aux conseils agronomiques et grille de risque pour l'oz	1999	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Données sols spatialisées pour la modélisation du ruissellement et de l'érosion	2001	<input type="checkbox"/>

Enregistrements 1 - 10 sur 283 Page 1 sur 29 10

**Valider la sélection**

**2. Localisation de l'application**  
**3. Personne(s) source d'information sur l'application**  
**4. Thématique(s) de l'application**  
**5. Organisme demandeur de l'application**  
**6. Organisme concepteur de l'application**  
**7. Références bibliographiques**

Sols & Territoires  
 INRA  
 Groupement d'intérêt scientifique

Copyright © 2009-2012 INRA, Tous droits réservés

Figure 1 : Vue de l'outil de saisie Applicasol

Enfin, l'objectif final de ce travail est, d'une part, de diffuser cette base de données *via* le site internet du RMT « Sols et Territoires », afin que les utilisateurs puissent l'interroger de manière efficace et d'autre part d'organiser son alimentation.

A l'heure actuelle, 300 des 1200 applications thématiques recensées à ce stade ont été saisies par InfoSol au titre de test. Ces saisies sont actuellement en cours de validation par leurs auteurs. Dès que celle-ci sera effective, l'interface pourra être ouverte au public. La saisie d'applications se poursuivra, en particulier dans le cadre du RMT Sols et Territoire. Mais chacun peut également en devenir acteur et contribuer à son enrichissement.

## **Les webservice cartographiques : un outils de diffusion des données du GISSOL**

**PAROISSIEN Jean-Baptiste<sup>1</sup>, MILLET Florent<sup>1</sup>, SABY Nicolas PA<sup>1</sup>, TOUTAIN Benoît F.P<sup>1</sup>, BARDY Marion<sup>1</sup> et EGLIN Thomas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>: INRA, US1106, INFOSOL, F-45075 ORLEANS, France, [jean-baptiste.paroissien@orleans.inra.fr](mailto:jean-baptiste.paroissien@orleans.inra.fr)

<sup>2</sup>: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), 20 avenue du Grésillé, BP 90406, 49004 Angers cedex 01, France

Les activités humaines peuvent affecter la qualité des sols et il est primordial de préserver leurs fonctions, dans la mesure où elles sont essentielles à la fourniture de nombreux services écosystémiques. Dans ce contexte, la diffusion d'informations fiables, actualisées et interopérables sur l'état des sols est un levier majeur pour sensibiliser les citoyens à la préservation des sols. Ce décloisonnement de l'information permet également de faciliter le travail des agents des autorités publiques et de favoriser la prise en compte des sols dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des actions publiques. Cette démarche de partage de l'information s'inscrit dans le cadre réglementaire de la directive INSPIRE qui, pour favoriser la protection de l'environnement, impose aux autorités publiques de publier sur Internet leurs données environnementales géographiques.

InfoSol est le gestionnaire du système d'information sur les sols de France qui rassemble les observations sur les sols de plusieurs programmes d'acquisition de données du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) dont le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS), la base de données des analyses de terre (BDAT) et la base de données des éléments traces métalliques (BDETM). Le RMQS a été mis en place pour détecter de façon précoce l'apparition et les tendances d'évolution de l'état des sols en France. Il est constitué d'un réseau systématique de mesures et de suivi des paramètres des sols sur une grille de 16x16KM, soit environ 2200 sites de mesure. La BDAT et la BDETM constituent des bases de données issues de la collecte des résultats d'analyses réalisées sur des échantillons de sols issus de parcelles agricoles par des laboratoires agréés par le ministère en charge de l'agriculture. Ces programmes ont permis la capitalisation de plus de 20 millions de déterminations pour la BDAT et plus de 500 000 pour la BDETM. Les résultats issus de ces programmes sont communiqués au sein de la communauté scientifique, et une interface permettant la réalisation de cartographies en ligne est d'ores et déjà accessible pour la BDAT. Cependant, la visibilité et l'accessibilité en ligne des données peut encore être améliorée de façon à favoriser leur appropriation par un large public.

Pour diffuser ces données sous une forme directement exploitable par les utilisateurs, Infosol met en place progressivement une architecture informatique décisionnelle qui permet de mobiliser des données brutes de différentes sources, de leur appliquer des règles métiers de

transformation et de les restituer simplement.

Plusieurs formes de diffusion sont proposées, elles dépendent notamment du niveau d'agrégation initiale des données. Dans le cas du RMQS, la publication des résultats porte d'abord sur l'ensemble des résultats d'analyses effectués sur les échantillons composites. Les résultats sont tout d'abord extraits de la base de données nationale DoneSol et formatés pour faciliter leur exploitation ; ils sont ensuite diffusés graphiquement sous forme de cartogrammes (taille du point proportionnelle à la valeur de l'élément diffusé). Un deuxième niveau d'agrégation consiste à diffuser des données élaborées provenant de modèles statistiques qui prennent en compte l'effet des variables environnementales (par exemple l'occupation du sol) dans la modélisation, par exemple, de la distribution spatiale de teneurs habituelles en éléments traces métalliques. Il est prévu de diffuser ces données élaborées sous forme d'images raster. Pour la BDAT et la BDETM, les statistiques sur la distribution statistique des propriétés du sol sont calculées par entité géographique et diffusées ensuite sous la forme de cartes chloroplètes (cartes thématiques où les zones sont colorées ou remplies d'un motif en fonction d'une valeur associée).

Pour assurer la reproductibilité et la traçabilité de ces traitements, une démarche qualité a été spécifiquement mise en place. Elle assure le suivi complet de la construction du modèle, de la création de la carte et de sa diffusion.

L'architecture mise en place pour diffuser ces données se fonde sur le couplage des composants de l'architecture décisionnelle d'InfoSol avec un serveur cartographique. Il s'agit d'un logiciel conçu pour assurer le partage et la diffusion sur internet des données géographiques sous forme de webservices cartographiques respectant les protocoles d'échanges normalisés par l'OpenGeo Consortium, et permettant de la sorte d'assurer l'interopérabilité des données.

Des fiches de métadonnées au format INSPIRE viennent décrire les données ainsi publiées. Elles décrivent les données diffusées en précisant leur étendue géographique, et la manière dont elles ont été construites. Pour assurer le référencement des données à l'échelle nationale, les fiches de métadonnées sont moissonnées par le GéoCatalogue ([www.geocatalogue.fr](http://www.geocatalogue.fr)) qui est le serveur national chargé de centraliser l'ensemble des métadonnées INSPIRE.

A terme, toutes les données qui ont été citées, seront accessibles à travers des services web cartographiques ([geoserver.gissol.fr](http://geoserver.gissol.fr), [www.geoportail.gouv.fr](http://www.geoportail.gouv.fr)) qui pourront être utilisés par des logiciels client de données géographiques (Quantum GIS, ArcGis), ou des applications web ([bdat.gissol.fr](http://bdat.gissol.fr)). Elles seront diffusées au format vectoriel ou raster et pourront également être accessibles en téléchargement. Au total, plus de 2000 web-services seraient alors disponibles en ligne.

## La formation "Utilisation de la base de données DoneSol"

**RICHER de FORGES Anne C.<sup>1</sup>, CHENU Jean-Philippe<sup>1</sup>, LAROCHE Bertrand<sup>1</sup>,  
CHAPUIS Aurélien<sup>1</sup> et LEHMANN Sébastien<sup>1</sup>**

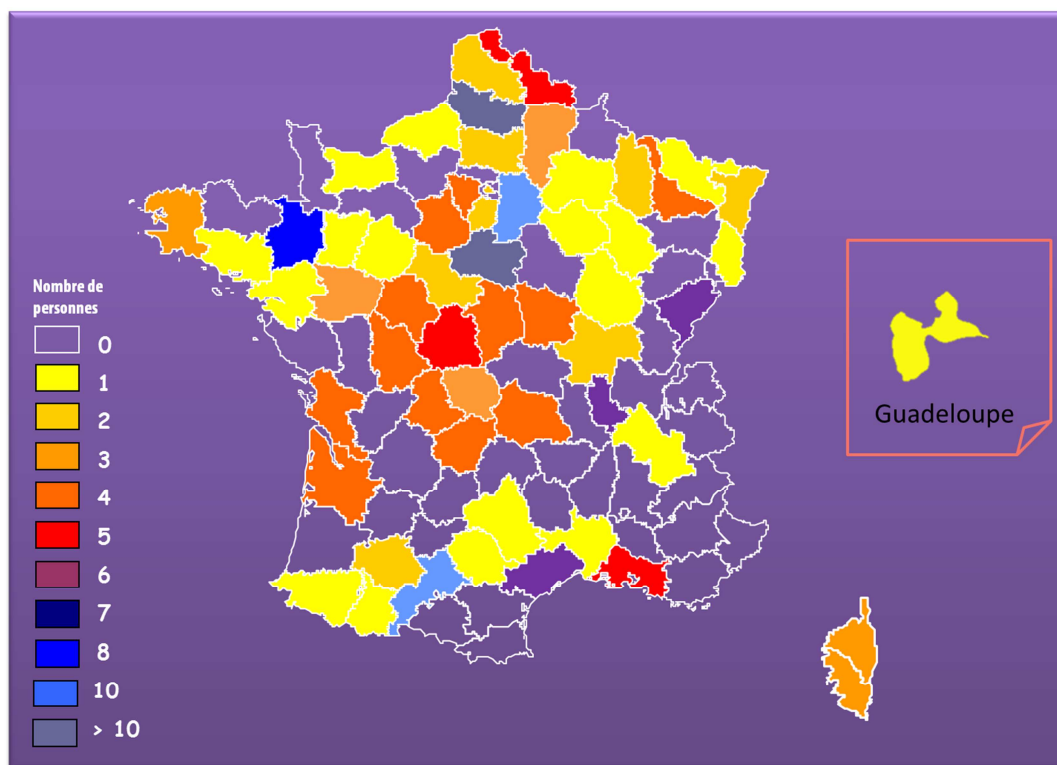
<sup>1</sup> Unité InfoSol, US 1106, INRA, CS 40001 Ardon, Orléans cedex 2, France,  
anne.richer-de-forges@orleans.inra.fr

L'unité InfoSol de l'INRA propose une formation technique sur l'utilisation de la base de données DoneSol. DoneSol est la base de données structurant et regroupant les données des profils pédologiques et des informations spatiales des Unités Cartographiques de Sols (UCS) et des Unités Typologiques de Sols (UTS) de France.

	Rechercher	Saisir	Personnaliser
<b>INFORMATIONS GÉNÉRALES</b>			
ETUDES			
AUTEURS			
<b>INFORMATIONS CARTOTHÈQUE</b>			
DOCUMENT			
<b>INFORMATIONS PONCTUELLES</b>			
PROFILS ( AFFECTATION À UNE ÉTUDE )			
HORIZONS			
ANALYSES			
PRÉLÈVEMENTS			
PHOTOS			
<b>INFORMATIONS SURFACIQUES</b>			
UCS			
UTS			
AFFECTATION UCS-UTS			
LIAISON ENTRE UTS			
STRATES			

Page d'accueil de l'interface de DoneSol-web

Cette formation est destinée en priorité aux personnes qui utilisent ou qui seront amenées à utiliser DoneSol (saisie des données via DoneSol-web, interrogation d'une base sémantique en format DoneSol...). Le dictionnaire de données DoneSol, disponible en ligne au format pdf, est également offert aux participants sous sa forme papier (manuel de 466 pages).



Localisation des participants à la formation

Cette formation se déroule sur trois jours consécutifs :

- le premier jour est consacré à la présentation de la structure de DoneSol et à la saisie des données ponctuelles et surfaciques. Les différents outils d'exportation des données (access, csv, pdf, profil littéral au format pdf ou odt...) sont présentés ;
- le second jour est un TP d'interrogation de DoneSol *via* des requêtes SQL ou les outils de recherche de l'interface DoneSol-web ;
- le troisième jour est une prise en main du logiciel ArcGis® appliqué à DoneSol : représentation des UCS, des profils, du résultat d'une requête SQL, géoréférencement d'une carte scannée à l'aide du géoportail. Les différentes méthodes d'agrégation de l'information au niveau de l'UCS pour la réalisation d'une carte thématique sont présentées.

La formation se déroule à l'INRA d'Orléans et chaque session est limitée à 8 personnes. Les dates des sessions sont consultables sur <http://www.gissol.fr/actualite/formation.php>

Ces formations sont gratuites. L'inscription est obligatoire pour participer.

## **Analyse de la diversité pédologique et des micro-organismes telluriques à l'échelle du paysage de l'OPE : approche par cartographie numérique de l'horizon de surface des sols.**

**SWIDERSKI C.<sup>1</sup>, SABY N.P.A.<sup>1</sup>, RATIE C.<sup>1</sup>, JOLIVET C.<sup>1</sup>, DEQUIEDT S.<sup>3</sup>,  
PARTY J.P.<sup>4</sup>, RANJARD L.<sup>3</sup>, REDON P-O.<sup>2</sup>**

1 : INRA, US 1106 Infosol, F-45075 Orléans, France.

2 : Andra, (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), direction Recherche et Développement, Centre de Meuse Haute Marne, Route départementale 960, F-54280 Bure.

3 : INRA, UMR 1347 Agroécologie – plateforme GenoSol, 17 rue de Sully, BP 86510, 21065 Dijon Cedex

4 : Sol Conseil, 251 route de La Wantzenau, 67000 Strasbourg

### **Résumé**

L'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) de l'Andra a mis en œuvre depuis 2007 un réseau d'inventaires et d'observations à long terme des différents milieux de l'environnement sur un territoire de 240 km<sup>2</sup> dans les départements de Meuse et de Haute-Marne. Un réseau de suivi et d'observation de la qualité des sols a ainsi été mis en place selon un maillage systématique en suivant le protocole d'échantillonnage et d'analyse de type « RMQS ». Alors que le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols collecte des échantillons sur tout le territoire national en se basant sur une grille de 16 km x 16 km, le suivi OPE est conduit à l'échelle du paysage sur une grille de 1,5 km x 1,5 km afin de décrire les caractéristiques pédologiques, physico-chimiques et biologiques des sols. Des prélèvements d'échantillons composites ont alors été effectués lors de 4 campagnes successives entre 2009 et 2012 sur un total de 117 sites, dont 57 disposaient en plus d'une fosse pédologique. Parmi les nombreux paramètres analysés pour établir un état de référence des sols de la zone d'observation, l'étude présentée se focalise sur les propriétés physico-chimiques (texture, carbone, pH, calcaire, azote, CEC, phosphore assimilable, cations échangeables et éléments majeurs totaux) et microbiologiques (abondance et structure des communautés microbiennes). Effectuées tous les 10 ans, ces campagnes de suivi de l'évolution de la qualité des sols ont également pour objectif de constituer une banque d'échantillons pour la conservation à long terme de la mémoire des propriétés physico-chimiques (stockage en sec, Écothèque Andra) et des ressources génétiques des communautés microbiennes (stockage à -40°C, plateforme GenoSol, INRA Dijon) des sols.

La compréhension des facteurs qui pilotent à l'échelle d'un paysage la distribution spatiale de la diversité pédologique et des micro-organismes telluriques sont des enjeux importants pour le maintien du fonctionnement de grands services écosystémiques que les sols offrent. Dans ce travail, nous avons étudié ces diversités par le recours à la cartographie numérique, à l'échelle d'un paysage, de la distribution multi-variée de propriétés pédologiques et biologiques. Pour cela nous avons couplé les analyses en composantes principales (ACP) sous contraintes spatiales avec des méthodes de fouille de données et de géostatistiques (krigeage universel). Les ACP multi-spatiales ont été réalisées sur trois matrices différentes regroupant respectivement les données des principales propriétés pédologiques (granulométrie, carbone, calcaire totale, cations échangeables, éléments majeurs totaux, azote total et phosphore assimilable), les communautés bactériennes et les

communautés fongiques toutes deux caractérisées par les empreintes moléculaires issues des analyses de type ARISA. Nous avons ensuite tenté d'expliquer les trois premiers axes de chacune des ACPs en les mettant en relation avec des covariables dont la couverture spatiale est exhaustive sur la zone d'étude. Trois modèles ont été utilisés : les arbres de régression implémentés dans la librairie « rpart » de R, les arbres de régressions boostés implémentés dans la librairie « gbm » et l'implémentation Cubist. Les covariables sélectionnées permettent ainsi de produire des cartographies exhaustives sur le territoire. Les variables retenues sont : (1) les dérivées morphométriques issues du MNA à la résolution de 25 mètres (15 variables), (2) l'occupation du sol, (3) le fond géologique (carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup>) et (4) les unités pédologiques issues de la carte pédologique au 1/50 000<sup>ème</sup>. Enfin, les résidus des modèles de régression ont été interpolés par des techniques géostatiques. L'ensemble de la procédure a été validée par validation croisée.

La zone d'étude se caractérise par une roche dominante calcaire, donc des types de sols homogènes et calcaires (Calcisols). Malgré cela, les propriétés physico-chimiques des sols se distribuent selon la nature géologique et pédologique de la zone ainsi que selon la géomorphologie du paysage (MNA et ses dérivées) et l'occupation du sol. La performance mesurée par le  $R^2$  des 6 modèles construits varie de 0,13 à 0,94. La structure génétique des communautés bactériennes et fongiques présente des structures spatiales relativement bien marquées à l'échelle du paysage, notamment selon les structures hydrologiques (fond de vallon, distance au plus proche court d'eau), selon la morphologie du relief (rugosité des pentes) et l'occupation du sol.

Nos résultats confirment qu'il est possible d'identifier et de hiérarchiser les filtres environnementaux qui pilotent les diversités pédologique et biologique à l'échelle d'un paysage.

## Pérennité des compétences pédologiques susceptibles d'être mobilisées en région pour la constitution et l'exploitation des bases de données sur les sols

MOREIRA Nathalie (1), TEINTCHEU Eugénie (1), LAROCHE Bertrand (1), MOULIN Joël (2), WALTER Christian (3, 4, 5), BARDY Marion (1), VOLTZ Marc (4)

1. INRA, US1106, InfoSol, F-45075 Orléans, France – Bertrand.laroche@orleans.inra.fr
2. CDA36
3. (3) AGROCAMPUS OUEST, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France
4. (4) INRA, UMR 1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France
5. (5) Université Européenne de Bretagne, France
6. INRA, UMR1221, LISAH, F-34060 Montpellier, France

Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS), conduit dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol), coordonne depuis de nombreuses années l'acquisition de données d'inventaire de sols à différentes échelles. Le volet Référentiels Pédologiques Régionaux de ce programme, en voie de finalisation, vise à produire une couverture nationale du territoire à l'échelle du 1/250 000. Ce volet est mis en œuvre de façon régionale par différents organismes ayant une compétence en pédologie. Suivant les régions, ces compétences sont mobilisées au sein de Chambres d'agriculture, d'établissements d'enseignement supérieur, d'associations, etc. L'intérêt de ce fonctionnement régional est de mobiliser des pédologues connaissant bien les contextes régionaux et de favoriser le lien avec les acteurs régionaux pendant et après la constitution des bases de données, dans le but de faciliter leur appropriation par les différents acteurs du territoire et leur utilisation future. Selon les situations, les bases de données sont constituées par des pédologues ayant des



emplois permanents au sein des structures, mais dont les compétences y sont souvent uniques, ou des emplois non permanents, dont il n'est pas toujours possible de pérenniser la situation au sein des structures. Ainsi, l'expérience montre que les compétences en pédologie sont susceptibles de faire défaut dans telle ou telle région suite à la mobilité d'un agent ou au non renouvellement de son contrat. Ces situations posent un certain nombre de difficultés pour mobiliser l'expertise nécessaire à la finalisation ou à l'exploitation des bases de données.

Fort de ce constat, le Conseil Scientifique national du programme IGCS a souhaité identifier en région les personnes-ressources en pédologie et dresser un diagnostic de la pérennité de ces compétences. Un questionnaire a été diffusé début 2014 de façon à dresser un bilan, région par région, des compétences pédologiques susceptibles d'être mobilisées autour des bases de données créées dans le cadre du programme IGCS : administration, connaissance des bases de données, capacité à en poursuivre l'alimentation, à les exploiter et à service de relai entre les bases de données pédologiques et leurs utilisateurs potentiels en région.

Sur la base des 261 réponses au questionnaire diffusé, cette communication a pour objectif d'identifier et de caractériser les différentes situations régionales et à discuter la pérennité des compétences dans ces différentes situations. Plus largement, cette étude pourra servir de base à une réflexion plus large sur le devenir des compétences en pédologie au niveau national.

## Référentiel Régional Pédologique de la région Nord-Pas de Calais : Etat d'avancement

FOURRIER Hervé, DETRICHE Sébastien, DOUAY Francis

Groupe ISA, Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement Lille Nord de France (LGCgE), EA 4515, 48 boulevard Vauban, 59046 Lille Cedex, France

### Contexte

D'une superficie de 1 248 260 ha, la région du Nord - Pas de Calais (Figure 1) comprend 17 Petites Régions Naturelles (PRN). L'étude de son relief permet d'opposer deux ensembles morphologiques que sont le **Haut-Pays** au sud et le **Bas-Pays** au nord (Gosselet, 1897). Le Haut-Pays correspond principalement au bombement anticlinal de l'Artois à substrat crayeux, édifié de la fin du Crétacé au début de l'ère tertiaire. Cet ensemble présente des altitudes souvent comprises entre 100 et 200 m, et se caractérise par une succession de plateaux cultivés plus ou moins vastes, entaillés par de profondes vallées aux versants pentus, ainsi que par des secteurs plus complexes où alternent des zones d'interfluves et de reliefs de côtes. A l'extrémité est du Haut-Pays, la Thiérache et la partie est du Hainaut se rattachent à la bordure sud-est du massif ardennais à substrat schisteux et calcaire de l'ère primaire. Ces deux PRN se différencient des autres par des altitudes plus élevées (200 à 250 m) et une occupation du sol où les prairies sont largement représentées. A l'extrémité ouest du Haut-Pays, la Boutonnière du Boulonnais constitue une singularité géomorphologique avec de vastes affleurements argileux, calcaires et sableux du Jurassique. Le Bas-Pays présente des altitudes le plus fréquemment comprises entre 0 et 50 m. Ceci se caractérise dans le paysage par une succession de plaines basses à surface horizontale et de plaines mollement ondulées à substrat argileux et sableux tertiaires.

Les formations géologiques qui affleurent dans le Haut et le Bas-Pays sont fréquemment recouvertes par des formations d'origine continentale mises en place au cours du Quaternaire. Ces dernières sont largement dominées par des limons loessiques dont les épaisseurs peuvent atteindre plusieurs mètres. D'autres formations présentes à l'affleurement sont d'origine marine, fluviale, colluviale ou issues de processus d'altération anciens.

La région Nord - Pas de Calais se caractérise également, au regard des données nationales d'occupation du sol, par une emprise urbaine élevée de 17,6 % et un taux de boisement assez faible de 8,6 % (DREAL, 2013). Dans la plupart des PRN, le pourcentage des terres arables dépasse largement celui des prairies.

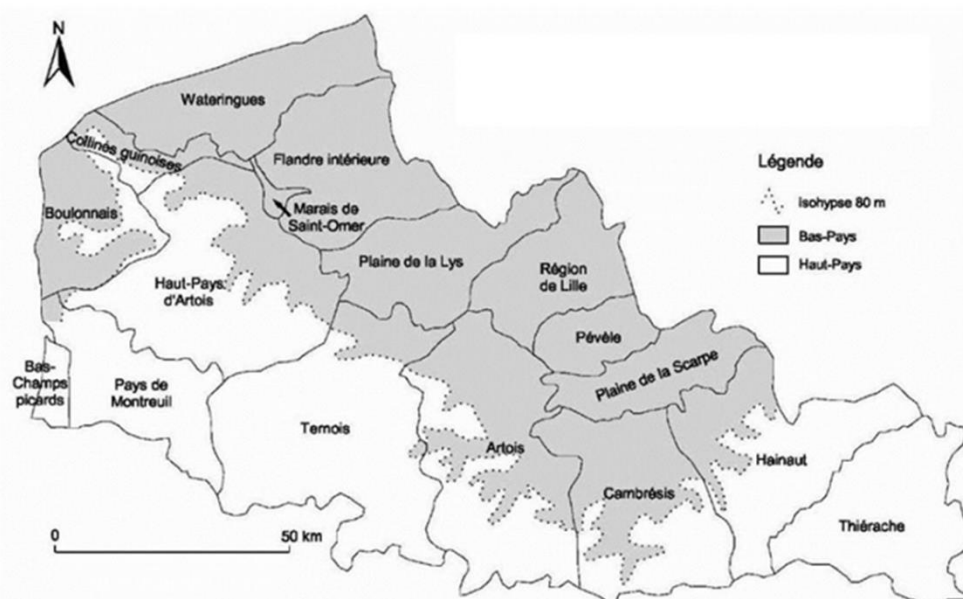


Figure 1 : Les grands ensembles géomorphologiques de la région Nord - Pas de Calais

## Matériel et méthodes

A ce jour, l'ensemble des données pédologiques ont été synthétisées et saisies DoneSol. Elles correspondent à environ 45 000 sondages à la tarière et à 585 profils sur fosses réalisés sur terres agricoles et boisées. Ces observations, réalisées par le LGCgE entre 1980 et 2013 et complétées par plus de 600 sondages dans le cadre du programme IGCS, ont fait l'objet de 343 cartographies à différentes échelles (1/50 000, 1/25 000, 1/10 000), réparties de façon relativement homogène et couvrant 35 % de la surface de la région. Au regard du taux d'urbanisation, la densité moyenne des observations atteint une donnée pour 23 ha, mais varie selon les PRN entre 1/58 et 1/12 ha. En ce qui concerne les profils sur fosse la densité régionale est de 1/1800 ha.

Dans la plupart des PRN du Haut-Pays, la caractérisation des pédopaysages (Unités Cartographiques de Sols ou UCS), l'identification des Unités Typologiques de Sols (UTS) et la connaissance de leur distribution au sein des UCS se sont appuyées sur les informations fournies par 334 cartes à l'échelle 1/25 000 représentant 13 % de la surface des terres agricoles et boisées. Ces cartes constituent des secteurs de référence à part entière et ont permis de préciser l'existence et la robustesse de lois de répartition de type « sol-paysage » ou « sol-voisinage » (Lagacherie, 1992) dans les différents PRN.

## Résultats

Malgré la part importante que représente les limons loessiques, la région Nord-Pas de Calais se caractérise par une diversité de matériaux parentaux (environ 24) qui se différencient par leur âge (de l'ère primaire au quaternaire), leur origine et leur composition. Environ 115 UTS ont été identifiées et plus de 120 UCS délimitées. De nombreuses UCS sont rattachées à une seule PRN en raison de l'origine spécifique des matériaux parentaux. C'est le cas dans le Bas-Pays, des alluvions marines holocènes de la Plaine maritime des Wateringues, des colluvions et alluvions des Plaines de la Lys et de la Scarpe et des limons sableux et sables limoneux loessiques de la Flandre intérieure, de la Région de Lille et de la Plaine de la Scarpe. C'est aussi le cas dans le Haut-Pays avec les formations jurassiques (argiles, calcaires, marnes, sables) du Boulonnais et dévono-carbonifères (schistes, calcaires) de la Thiérache. A l'inverse, dans le Haut-Pays, des UCS à dominante limoneuse peuvent être rattachées à plusieurs PRN, en raison de l'importance de la couverture limoneuse. Ces UCS se caractérisent généralement par un nombre limité d'UTS. Néanmoins, des variantes existent dans des secteurs où le recouvrement limoneux est discontinu et de moindre épaisseur, laissant apparaître des sols issus de matériaux parentaux plus anciens.

En liaison avec la nature des substrats géologiques, la répartition des UCS permet d'opposer les sols du Bas-Pays affectés par une hydromorphie à des degrés divers à ceux du Haut-Pays qui présentent le plus souvent un bon drainage naturel. D'une façon générale l'évolution pédogénétique des sols régionaux est peu marquée. C'est notamment le cas des limons loessiques qui sont faiblement argilluviés, donnant des BRUNISOLS, des BRUNISOLS luviques, voire des NEOLUVISOLS. Cette faible évolution s'explique vraisemblablement par l'âge récent de ces limons datés de la dernière période glaciaire, mais aussi par les pressions anthropiques qui ont marqué profondément l'histoire régionale.

## Références

- DREAL, 2013. L'occupation du sol en Nord-Pas de Calais, Bilan et perspectives. 33pp.
- Gosselet J., 1897. Cours de géographie physique du Nord de la France et de la Belgique. Ann. Soc. Géol. Nord., 26, 243-262.
- Lagacherie P., 1992. Formalisation des lois de distribution des sols pour automatiser la cartographie pédologique à partir d'un secteur pris comme référence. Thèse de doctorat. Univ. Montpellier II. INRA Science du Sol. 175pp. + annexes.

## Le lessivage : un concept à dépoussiérer à grande eau

LEGROS Jean-Paul

Retraité INRA, 1 bis rue de Verdun, 34000 Montpellier, [afsol.legros@orange.fr](mailto:afsol.legros@orange.fr)

### Un concept ancien devenu un dogme

D'après Feller *et al* (2007), le concept de *lessivage* apparaît pour la première fois dans une traduction française datée de 1889 et intéressant des ouvrages légèrement antérieurs publiés par le Suédois P.E. Müller. Le lessivage est ensuite mentionné dans les documents que Dokuchaev amène à Paris pour l'Exposition Universelle de 1900. Il s'applique alors, sans précision, à toute substance susceptible de migrer vers le bas dans les sols. Puis la peptisation et la migration de l'argile sont citées en 1949 par Albert Demolon dans sa « *Génétiq ue des sols* ». Mais la distinction n'est pas encore faite entre lessivage et podzolisation. Tous les horizons de surface blanchis et acidifiés sont plus ou moins confondus. Concrètement, aucun taxon n'est reconnu entre les sols bruns et les sols podzolisés. Il semble que les seconds constituent toujours le terme de l'évolution des premiers. Il faut arriver à l'ouvrage de Kubiena, *The Soils of Europe*, publié en 1952 depuis l'Espagne, pour voir enfin apparaître les *Bleached braunlehms* qui sont nos modernes *Luvisols*. En 1960, Duchaufour franchit une étape décisive. Il écrit très clairement dans son fameux traité de pédologie : « *l'argile ne subit qu'un entraînement mécanique mais par contre aucune transformation chimique* ». Les choses sont enfin claires, à défaut d'être justes à cent pour cent. Mais comme toujours, les successeurs ont érigé l'idée en dogme.

### Une réalité non réductible au lessivage de l'argile

Une chose est d'observer la présence de revêtements argileux dans les horizons B des sols, une autre est de prétendre que le lessivage est responsable, à lui seul - ou même principalement -, de la différenciation texturale des profils du type « *Luvisol* ». En effet cela revient à négliger deux phénomènes essentiels qui sont d'une part l'altération en B de minéraux susceptibles de donner de l'argile et d'autre part la solubilisation de l'argile en E, ou son évacuation latérale sous forme particulière. L'importance de l'altération en B est évidente dès lors qu'on travaille sur des matériaux contenant une fraction grossière dont on voit bien la transformation en argile : cailloutis de la Vallée du Rhône (thèse de M. Bornand), glauconies (thèse de D. Baize) ou arènes granitiques (travaux de l'auteur). La dissolution de l'argile en E est fort peu visible, car elle est extrêmement lente. Mais elle peut être suspectée via de nombreux indices qui touchent à la minéralogie, à la granulométrie, aux bilans de matière. La non-opérabilité du modèle « lessivage dominant » est administrée par l'article de Laurence Quénard *et al* (2011). Il y est écrit que seulement de 1 à 12% des sols décrits comme *Luvisols* dans la base *DoneSol* ont une morphologie dont le lessivage peut quantitativement rendre compte !

### L'enfoncement progressif des horizons pédologiques

Un modèle moins réducteur a donc été construit en 1982 (thèse de l'auteur) puis mieux argumenté dans des ouvrages (Legros, 2007 et 2012) et des articles semi grand public (2008, 2013). Il ne peut être repris ici en détail. Pour en donner une image simplifiée, les horizons du sol sont vus comme une file indienne de cannibales dont chacun mange celui qui le précède vers le bas du profil tout en étant dévoré lui-même par celui qui le suit vers le haut (le second est donc le résidu du premier, le troisième est le résidu du second, et ainsi de suite). Cela conduit à la notion de fronts d'altération qui s'enfoncent progressivement vers le bas. Leur existence est patente dans les sols très vieux et très évolués. Les géologues et pédologues tropicalistes ont donc été les premiers à exprimer ces idées. Elles expliquent, par exemple, la concentration d'un facteur 10 de l'or dans les latérites (beaucoup plus et jusqu'à 400 fois pour d'autres métaux). Puis l'intervention des fronts d'altération a été généralisée par l'auteur aux sols tempérés et évolués tels que *Podzols* et *Luvisols*, ceci pour

obtenir une vision unifiée de la pédogenèse à l'échelle de la Planète. Dans ce contexte, on peut voir la séquence Brunisol→Luvisol comme un système dans lequel les mécanismes d'altération et de dégradation sont initiés en même temps. La différenciation E versus B apparaît lorsqu'en E l'altération s'essouffle faute de minéraux primaires à consommer et que la dégradation alors l'emporte. En 1969 déjà, Fedoroff et Rossignol s'étonnaient de la simultanéité de l'altération et de la dégradation dans les B de boubènes. Le lessivage au sens strict (transfert vertical d'argile) apparaît alors comme un phénomène complémentaire, fort visible, mais dont l'importance réelle reste à évaluer. Ce modèle alternatif est cohérent avec de nombreux faits d'observations : (i) vitesses d'évolution reconnues très faibles et s'exprimant en dizaines de milliers d'années, (ii) absence d'argilanes dans certains B argileux, (iii) présence fréquente de langues de dégradation, (iv) signes évoqués plus haut et qui concernent la dissolution de la fraction fine. Dans ce contexte, des nuances dans les vitesses relatives de formation et de disparition de l'argile expliquent que l'on puisse obtenir des profils avec E ténu (50 cm) sur B très épais (10 m dans le cas des Argiles du Bourbonnais), ou bien le contraire c'est-à-dire des E épais sur des B réduits à rien ou même totalement disparus. Bref, il ne faut pas rechercher de relation directe entre épaisseur des E et épaisseur des B. D'où le résultat négatif de l'intéressante tentative de Quénard *et al.*

### Des résultats attendus

Au total, on peut obtenir un sol brun peu différencié avec beaucoup de transferts d'argile à la base [LEGROS, 1976] ou un Planosol sans beaucoup de marques de redistribution. Il ne faut donc pas associer de trop près les concepts « lessivage » et « luvisol ». Ainsi, dans des sols jeunes réputés peu évolués, par exemple sur des vestiges romains ou des squelettes d'hominidés, devrait-on regarder de très près les transferts de différents types de particules (il y a lessivage de limons dans les Rankosols !). Ces transferts pourraient constituer des sortes de chronomètres fins à l'usage des archéologues. D'où la nécessité de poursuivre les efforts, avec la volonté de quantifier le poids réel du lessivage dans la différenciation des sols, sa vitesse moyenne, ses freins, ses accélérateurs, et tous ses mécanismes de détail.

DEMOLON Albert, 1947. *La génétique des sols*. Que sais-je, 133 p.

DUCHAUFOR Ph, 1960. Précis de Pédologie, Masson et Cie, 438 p.

DOKOUTSCHAEFF B., 1900. Zones verticales des sols, zones agricoles, sols du Caucase. Collection pédologique, Exposition Universelle, Ed. Ministère des Finances de St-Pétersbourg, 56 p.

FEDOROFF N., ROSSIGNOL J.P., 1969. Les boubènes des terrasses de la Garonne (région d'Agen). *Bull. de l'Association Française pour l'Etude du Sol* n°5, 37-52.

FELLER C., BLANCHART E., HERBILLON A., LEPRUN J.C, POSS R., 2007. L'importance des recherches coloniales, en particulier à Madagascar, dans le développement de la pédologie française, EGS, vol 14, 4, pp. 305-315.

KUBIENA W., 1952. *The Soils of Europe*. Thomas Murby and Compagny, London, 317 p.

LEGROS J.P., 1975. Origine et évolution des accumulations litées argileuses dans les arènes cristallines des régions tempérées humides. Cas du Mont Pilat. *C.R. Acad. Sciences*, t. 281, pp.1817-1820.

LEGROS J.P ; 2008. Comment se forment les sols. *Pour la Science*, n° d'Avril, pp. 74-79.

LEGROS J.P. 2007. *Les Grands Sols du Monde*, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, 574 p.

LEGROS J.P. 2012. *Major soil groups of the World. Ecology, genesis, properties and classification*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 464 p.

LEGROS J.P., 2013. Latérites et autres sols des régions intertropicales. *Académie des Sciences et Lettres de Montpellier*, Séance du 9 décembre 2013, Bull 2013, tome 44, pp. 369-382.

QUENARD L., SAMOUELIAN A., LAROCHE B., CORNU S., 2011. Lessivage as a major process of soil formation: a revisitation of existing data. *Geoderma*, 167-168, pp. 135-147.

## Quantification des transferts verticaux de matière dans des anthopo-séquences de Luvisols

JAGERCIKOVA, Marianna<sup>1</sup>, CORNU, Sophie<sup>1</sup>, BOURLES, Didier<sup>2</sup>, VERON Alain<sup>2</sup>, BALESDENT, Jérôme<sup>1</sup>, AYRAULT Sophie<sup>3</sup>, HATTE Christine<sup>3</sup>, EVRARD Olivier<sup>3</sup>

- 1- INRA, UR1119 Géochimie des Sols et des Eaux, F-13100 Aix en Provence, France
- 2- Aix-Marseille Univ., CEREGE, UMR CNRS 7330, BP80, 13545 Aix-en-Provence Cedex 4, France
- 3- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL), UMR8212 (CEA-CNRS-UVSQ), Domaine du CNRS, F-91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France

### 1. Introduction

Les sols résultent des interactions, sur des échelles temporelles variées, entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère et représentent une ressource non renouvelable à l'échelle de la vie humaine. Afin de gérer cette ressource durablement il est nécessaire d'être en mesure de prédire l'impact des activités humaines sur son évolution. Si il existe des modèles de pédogenèse, les modules de transferts verticaux de matière restent mal contraints notamment du fait du manque d'indicateur permettant de les quantifier.

Par ailleurs, divers traceurs géochimiques, en particulier isotopiques, ont été développés en sciences de la Terre pour la quantification de différents processus, notamment comme indicateurs de bilan de masse en système fermé et comme géochronomètres. Si leur utilisation pour étudier et quantifier les processus de la pédogenèse reste peu explorée, ils apparaissent potentiellement adaptés au traçage des transferts verticaux de matière. Ainsi <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>10</sup>Be atmosphérique, <sup>206/207</sup>Pb, <sup>13</sup>C et <sup>14</sup>C sont principalement apportés à la surface des sols et ont une affinité forte pour les phases solides. Redistribués en profondeur par les processus de transferts verticaux de matière, ils sont en mesure de tracer ces transferts. De plus, comme ils ne présentent pas les mêmes propriétés, historique d'apport et demi-vie, ces isotopes signent ces processus sur des échelles de temps très larges.

Dans les travaux de recherche présentés, nous avons choisi de combiner une approche factorielle de la pédogenèse avec une nouvelle approche multi-isotopique et une modélisation numérique des distributions isotopiques afin : i/ de quantifier les transferts verticaux de matières solides, lessivage et la bioturbation, dans les sols ; et ii/ d'analyser l'impact de l'occupation des sols et des pratiques agricoles sur ces transferts.

### 2- Matériel et méthodes

Trois expérimentations de longue durée sur Luvisols développés sur loess ont été sélectionnées : i/ l'essai système de Mons, un essai d'une dizaine d'années de réduction du travail du sol et une prairie permanente non cultivée depuis 1939 ; ii/ l'ORE PRO-Qualiagro de Feucherolles, un essai d'une dizaine d'années d'apport de matières organiques résiduelles et une forêt résiduelle adjacente ; iii/ l'essai agronomique de monoculture blé d'Arvalis à Boigneville, un essai de 40 ans de réduction de travail du sol. Ces sites diffèrent également par leur teneur en matière organique, leur pH, l'intensité de la bioturbation et l'épaisseur et la nature du substratum du loess.

Les compositions en <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb (xs), <sup>10</sup>Be atmosphérique, <sup>206/207</sup>Pb, <sup>13</sup>C et <sup>14</sup>C ont été analysées et leurs distributions avec la profondeur modélisées par une équation de convection-diffusion complétée le cas échéant par un terme de décroissance radioactive. Le terme de convection représente le déplacement vertical dû au lessivage (transport de matière solide), le transport des solutés étant supposé négligeable; tandis que le terme de diffusion représente la dispersion due à la bioturbation.

### 3- Une approche multi-isotopique pour tracer des transferts verticaux de matière solide

Les distributions verticales des différents isotopes dépendent de la durée de leur demi-vie et de l'historique de leur apport. Ainsi les isotopes à la courte durée de vie (<sup>137</sup>Cs et <sup>210</sup>Pb<sub>(xs)</sub>) sont

concentrés dans les horizons-A tandis que les isotopes à longue durée de vie et les isotopes stables ( $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  et  $^{206/207}\text{Pb}$ ) sont redistribués sur l'ensemble des profils. Seul le  $^{10}\text{Be}$  présente des concentrations maximales dans l'horizon Bt. Le  $^{137}\text{Cs}$ , le  $^{210}\text{Pb}_{(\text{xs})}$  et le  $^{13}\text{C}$  permettent d'identifier les différences de distributions verticales dans les horizons A dues à la réduction du travail du sol. Ces isotopes montrent également de plus importantes descentes de matière sous prairie que dans les parcelles cultivées et sous forêt.

La comparaison entre les profils de  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{10}\text{Be}$  illustre un historique des apports différent. En effet, le  $^{137}\text{Cs}$ , apporté récemment par les pluies, est préférentiellement adsorbé à proximité des macropores et est ensuite redistribué le long de ces macropores par des processus de transferts de matière solide. En revanche, le  $^{10}\text{Be}$ , largement présent dans le matériau parental, est réparti de façon homogène dans toute la masse du sol, seule la fraction apportée postérieurement au dépôt du loess a une distribution préférentielle autour des macropores.

Pour modéliser conjointement ces systèmes isotopiques, nous avons développé un modèle répartissant en proportion 20-80 la part mobile versus immobile des isotopes hérités, utilisant les coefficients de transferts convectifs déterminés avec  $^{137}\text{Cs}$  pour la couche de 0-20 cm et optimisant, sur les données du  $^{10}\text{Be}$ , ces coefficients pour les profondeurs supérieures à 20 cm. Ce modèle a été ensuite appliqué à la modélisation des concentrations en isotopes stables du plomb, du  $^{13}\text{C}$  et du  $^{14}\text{C}$ . Cette approche de modélisation a fourni des résultats très satisfaisants pour les sites modélisés, i.e. la prairie et la modalité travail conventionnel de chacun des sites.

#### 4- Reconstruction temporelle de l'évolution des profils de *lutum* (fraction $<2\mu\text{m}$ )

Les coefficients de transfert obtenus par la modélisation multi-isotopique ont été appliqués à la simulation des distributions verticales de *lutum* et l'évolution temporelle sur 15000 ans des profils de *lutum* a été reconstruite pour la prairie. Les simulations prédisent correctement une accumulation du *lutum* au Bt actuel mais sous-estiment les teneurs absolues de 30 à 90 %. D'autres processus entrent donc en jeu dans la formation du Bt des Luvisols étudiés. L'évolution temporelle du profil de *lutum* met en évidence la formation d'un ventre d'argile en quelques dizaines d'années, puis sa migration progressive vers sa position actuelle et son élargissement du fait de l'accumulation de *lutum* et des processus diffusifs pour atteindre un état d'équilibre après 9 000 ans

#### 5- Conclusion

Au travers de ce travail multidisciplinaire et multi-échelle, nous avons mis en évidence le plus grand réalisme d'une modélisation de transfert vertical des particules avec des paramètres variant avec la profondeur que lorsque celle-ci est réalisée avec des paramètres constants.

Par ailleurs, notre capacité à modéliser ces différents isotopes avec un jeu de paramètres commun conforte nos hypothèses de départ: migration de ces isotopes principalement par des transferts de matières solides et transferts en soluté négligeables.

Cette étude démontre la puissance de l'application d'une approche multi-isotopique combinée avec une modélisation numérique basée sur une équation différentielle non linéaire pour le traçage des matières solides dans les sols.

#### Remerciement :

Ce travail a bénéficié d'un financement ANR 10 Blanc 605 - AgriPed.

## Quantifier l'effet de 250 ans de mise en culture sur l'intensité du processus d'éluviation/illuviation par approche micromorphologique couplée à de l'analyse d'images

SAUZET Ophélie<sup>1</sup>, MONTAGNE David<sup>1</sup>, CAMMAS Cécilia<sup>2</sup>, GILLIOT Jean Marc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : UMR 1091 Environnement et Grandes Cultures, INRA-AgroParisTech, F-78850 Thiverval-Grignon, [ophelie.sauzet@agroparistech.fr](mailto:ophelie.sauzet@agroparistech.fr)

<sup>2</sup> : UMR 5140 Archéologie des sociétés méditerranéennes, INRAP-AgroParisTech, F-78850 Thiverval-Grignon, [cecilia.cammas@inrap.fr](mailto:cecilia.cammas@inrap.fr)

### Introduction

Par sa fonction de support pour la production agricole notamment, le sol assure des services essentiels. La capacité du sol à fournir ces services est elle-même dépendante de propriétés qui changent constamment en fonction de divers processus biologiques, chimiques ou physiques (Targulian & Krasilnikov, 2007). Dans un souci de gestion durable de cette ressource sol, il paraît donc essentiel de prédire ces évolutions pédologiques. Depuis le début de l'Anthropocène, l'agriculture constitue une variable de forçage sur les processus pédologiques mais les dynamiques de réponse des sols aux perturbations anthropiques restent assez peu connues, tout particulièrement pour des pas de temps compris entre quelques dizaines et quelques centaines d'années (Richter, 2007 ; Cornu et al., 2009).

Parmi les évolutions possibles sur un tel pas de temps figurent les redistributions d'un des constituants essentiels du sol à savoir la fraction fine < 2 µm en réponse au processus de lessivage. L'analyse micromorphologique des sols permet grâce à la reconnaissance de traits pédologiques spécifiques de distinguer les processus en jeu dans les sols étudiés et tout particulièrement le processus de lessivage qui se caractérise par la formation de revêtements argileux (Kuhn et al., 2010). Nous nous sommes ainsi fixé pour objectif i) de développer une méthode de quantification de l'intensité du processus de lessivage à partir de l'abondance des revêtements argileux déterminée par analyse d'images sur lames minces de sol et ii) de quantifier l'impact d'au moins 250 ans de mise en culture sur l'intensité du lessivage.

### Matériel et Méthodes

Pour réaliser ce travail, nous avons construit une anthropo-séquence de Luvisols située à Feucherolles (Yvelines, France). Cette séquence est constituée d'un LUVISOL sous forêt de feuillus et d'un LUVISOL sous culture conventionnelle. Les deux sites n'ont pas subi de changement de leur mode d'occupation depuis au moins 250 ans. Des blocs de sol à structure conservée ont été prélevés dans chacun des horizons et des lames minces de sol de 57 cm<sup>2</sup> ont été fabriquées selon la méthode de Guilloché (1985).

Une description micromorphologique de chacune des lames a été réalisée. Deux grands types de traits texturaux diagnostics de redistributions de la fraction < 2 µm ont été distingués : des revêtements qualifiés de « limpides », caractéristiques d'écoulements laminaires de faible énergie sous couvert végétal permanent et des revêtements qualifiés de « poussiéreux » caractéristiques des écoulements laminaires de moyenne énergie propres aux sols cultivés (Fédoroff & Courty, 1994 ; Kuhn et al., 2010). Les lames minces ont été ensuite numérisées avec une résolution de 5.3 µm/px dans des conditions similaires. Une classification supervisée colorimétrique a été utilisée dans le but d'isoler les traits texturaux limpides et un développement méthodologique basé sur des critères de texture a été construit sur les images couleur afin d'isoler les traits texturaux poussiéreux. Une validation par digitalisation manuelle a été mise en œuvre en vue de valider les données quantitatives collectées.



## Résultats

En référence à la digitalisation manuelle, les méthodes de classification supervisée colorimétrique ou texturale détectent de manière satisfaisante les revêtements argileux limpides ou poussiéreux. L'abondance des revêtements argileux passent d'à peine 1% dans les horizons éluviaux E, où ils sont notamment présents sous formes de papules, à plus de 15% dans l'horizon illuvié BT puis diminue ensuite. Les revêtements argileux occupent encore près de 10% des surfaces étudiées à 120 cm de profondeur. De telles évolutions de l'abondance des revêtements argileux en fonction de la profondeur sont classiques des Luvisols.

La mise en culture se traduit par une augmentation de l'abondance totale des revêtements argileux. Si l'abondance des revêtements limpides n'évolue pas avec la mise en culture, l'abondance des revêtements argileux poussiéreux augmente significativement. Minoritaires sous forêt, ils représentent sous culture près de la moitié des revêtements argileux dans les horizons BT. La mise en culture se traduit ainsi non seulement par une augmentation de l'intensité globale du lessivage mais aussi par des modalités de transfert des particules spécifiques liées à des flux d'eau plus rapides. Un tel effet pourrait s'expliquer par une évolution du système poral avec la mise en culture vers une porosité d'origine biologique de plus grande taille plus favorable aux transferts préférentiels de particules (Bajard, 2013).

## Conclusion

La quantification de l'abondance des revêtements argileux par une telle approche micromorphologique couplée à de l'analyse d'images de lames minces de sol nous a permis de mesurer des variations d'intensité du lessivage en fonction des différents horizons des Luvisols. Bien que classique, ce résultat démontre la validité de la pertinence des indicateurs choisis et des méthodes mises en œuvre pour quantifier l'intensité du processus de lessivage. Nous avons également démontré que la mise en culture induisait dans les sols étudiés une augmentation de l'intensité du lessivage soulignant que ce processus est actif dans les conditions climatiques actuelles. Ce travail serait à élargir à d'autres types de contraintes anthropiques et sur des échelles de temps variées afin i) de mieux caractériser la dynamique de ce processus, ii) de mieux évaluer l'influence des pressions anthropiques sur le fonctionnement des sols et iii) de commencer à appréhender les pratiques agricoles en fonction de leur influence sur les processus pédologiques.

Ce travail a bénéficié d'un financement ANR (ANR-10-Blanc-605).

## Références

- Bajard M., 2013. Quantification de l'intensité de l'activité biologique dans les sols par analyse d'images de lames minces de sol : mise au point méthodologique et quantification de l'impact de 250 ans de mise en culture. Mémoire M2 Parcours Sols AgroParisTech-UPMC, 77 p.
- Cornu, S., Montagne, D., Vasconcelos P.M., 2009. Dating constituent formation in soils to determine rates of soil processes : A review. *Geoderma* 153, 293-303.
- Fedoroff N., Courty M.A., 1994. Organisation du sol aux échelles microscopiques. Dans : *Pédologie 2 Constituants et propriétés du sol*. Bonneau M., Souchier B. Masson, Paris, 2e édition.
- Guilloré P., 1985. Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces, Doc Ronéotypé., I.N.A. P.-G., Département des sols.
- Kuhn P., Aguilar J., Miedema R., 2010. Textural pedofeatures and related horizons. Dans : *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Stoops G., Marcelino V., Mees F., pp. 217-250. Amsterdam : Elsevier.
- Richter, D. deB, 2007. Humanity's transformation of Earth's soil: Pedology's new frontier. *Soil Sci.* 172, 957–967.
- Targulian, V.O., Krasilnikov, P.V., 2007. Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. *CATENA* 71, 373–381.

## **Modélisation des transferts verticaux de matière dans des anthropo-séquences de Luvisols**

CORNU, Sophie<sup>1</sup>, SAMOUËLIAN, Anatja<sup>2</sup>, FINKE, Peter<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : INRA, UR1119 Géochimie des Sols et des Eaux, F-13100 Aix en Provence, France

<sup>2</sup> : INRA, UMR 1221 LISAH (INRA-IRD-SupAgro), 2 place Pierre Viala F- 34060 Montpellier, France LISAH, France

<sup>3</sup> : Département de Géologie et de Science du Sol, Université de Gand, Belgique

### **1. Introduction**

Les sols sont à l'origine de services essentiels, d'approvisionnement, de régulation, de stockage de carbone, de support, d'archive et de réserve de biodiversité. Ils forment une ressource non renouvelable à l'échelle humaine, mais évoluent néanmoins sous l'action de l'homme agriculteur et du climat sur des échelles de temps de quelques dizaine d'années. Ces évolutions peuvent mener à une amélioration ou à une détérioration de la qualité des sols et des services qu'ils rendent. Ainsi, pour protéger les sols et leurs fonctions, avons-nous besoin de prédire l'impact de l'agriculture et du changement climatique sur leur évolution future et sur celle de leurs fonctions. Il est donc nécessaire d'être en mesure de modéliser ces dernières sur des échelles de temps de 10 à 100 ans.

Le modèle mécaniste d'évolution des sols, SoilGen (Finke, 2012), permet de simuler de tels changements car il considère explicitement les flux de matière (e.g. eau, carbone, particules) en lien notamment avec la bioturbation, le lessivage et le travail du sol. Il est donc un candidat approprié pour l'évaluation des effets futurs de l'agriculture sur l'évolution des caractéristiques des sols. Néanmoins, il doit au préalable être validé. Une approche possible est de tester sa capacité à reproduire la formation des sols actuels et les différences induites dans ces sols par des différenciations d'usage des terres ou de pratiques agricoles. Une des difficultés liées à la simulation de la formation des sols est la reconstruction i) des conditions aux limites au cours du dernier millénaire, notamment des usages des terres et niveaux de productivité, et ii) des données du matériau parental représentant une condition initiale. Nous proposons ici de tester la capacité de SoilGen à prédire l'état actuel de sol soumis à des différenciations anthropiques ainsi qu'une analyse de sa sensibilité aux conditions initiale et aux limites.

### **2- Matériel et méthodes**

Le modèle SoilGen simule l'évolution des sols sur des échelles de temps plurimillénaires. Il combine la représentation des processus géochimiques, physiques et biologiques prenant place dans les sols et permet de prédire la dynamique de la répartition verticale d'un certain nombre de variables à fort potentiel environnemental comme la teneur en carbone organique, la texture, le pH et plusieurs propriétés physiques (densité apparente, réserve en eau). Jusqu'à maintenant il est principalement adapté à la modélisation des sols développés sur loess calcaire.

Trois sites expérimentaux (l'essai système de Mons, l'ORE PRO-Qualiaagro de Feucherolles, l'essai agronomique d'Arvalis à Boigneville) ont été sélectionnés. Ils sont tous installés sur des Luvisols développés sur loess. Pour chacun de ces sites trois modalités de pratiques culturales et/ou usage des sols ont été analysés.

### **3- Capacité de SoilGen à reproduire les gradients induits pas les usages des sols et pratiques agricoles dans les anthroposéquences analysées**

Les simulations des 9 profils de sol reproduisent correctement les stocks de carbone organique au sein du profil ainsi que leurs variations induites par les changements d'usage et de pratiques. Le profil de concentration est néanmoins assez différent. Ceci peut être attribué à la sous-estimation systématique des densités apparentes. Dans la mesure où la version actuelle de SoilGen ne considère pas de variations de volume au sein du profil, la

densité apparente est sous-estimée d'environ  $0.3\text{g/cm}^3$  en profondeur et jusqu'à plus de  $0.5\text{g/cm}^3$  en surface. En ce qui concerne la fraction fine, on observe pour l'ensemble des sites, une simulation satisfaisante de la forme des profils d'évolution des teneurs avec la profondeur avec toutefois des pertes bien supérieures à celles mesurées. En profondeur, le ventre d'accumulation de la fraction fine n'est pas simulé. Ceci s'explique par le fait que : 1) soit le lessivage n'est pas le processus d'intérêt ; 2) soit par une sous-estimation de la fixation des particules fines, probablement associée à la trop faible densité. Les approches multi-isotopiques réalisées montrent que le lessivage est seulement pour partie responsable des ventres d'accumulation enregistrés. En ce qui concerne le pH, les valeurs simulées sont très inférieures aux observations et ce quel que soit le site considéré. Pour les sites agricoles cette sous-estimation peut-être due à une mésestimation de l'historique de chaulage, mais cette hypothèse n'est pas valide pour la forêt. Ainsi soit le drainage simulé est trop important du fait de la sous-estimation de la densité, soit la constante de dissolution de la calcite est surestimée. Enfin l'absence dans le modèle de réactions d'altération des autres minéraux primaires susceptibles de libérer Ca et Mg explique aussi peut-être ce résultat.

#### **4- Sensibilité de SoilGen aux conditions initiales et aux conditions limites**

La difficulté de l'utilisation de SoilGen réside dans la reconstruction des matériaux parentaux et dans l'établissement des historiques climatiques et agricoles. L'horizon C est classiquement considéré comme représentatif des loess originels mais sa composition n'est pas facile à déterminer précisément. Les tests sur la sensibilité du modèle à la composition du matériau parental montrent 1) une sensibilité importante à la teneur en fines mais que 2), quel que soit cette teneur, les profils simulés sous-estiment les teneurs en fines. La composition du matériau parental n'influence pas significativement les autres caractéristiques considérées du sol.

La sensibilité du modèle aux reconstructions climatiques et historiques agricoles a été testée. Les tests montrent une influence limitée du climat, dans la gamme considérée, sur la plupart des variables considérées à l'exception du pH. Dans le cas du pH, les changements observés ne présentent pas de tendance claire. Nous mettons aussi en évidence que la durée de mise en culture influence la teneur en fine dans les horizons de surface, celle-ci reste cependant trop faible quel que soit le scénario considéré. L'intensité du labour joue principalement sur le profil en C organique, alors que la fertilisation joue sur le pH, avec, quel que soit le scénario considéré, un pH simulé inférieur d'une à une unité et demie à celui mesuré. Enfin, aucune influence significative sur les prédictions de densités apparentes n'est observée.

#### **5- Conclusion et perspectives**

Le modèle SoilGen prédit bien les tendances induites par des changements d'occupation des terres et de pratiques agricoles observées sur des essais longue durée pour les teneurs en fines et les teneurs en C organique, mais pas pour le pH. Dans le cas des teneurs en fines et de la densité apparente, les simulations sous-estiment systématiquement ces variables. Les analyses de sensibilité réalisées sur les conditions initiales et aux limites montrent qu'une amélioration de la connaissance de ces données permettrait d'améliorer la prédiction de certains paramètres du sol, mais ne serait pas pour autant suffisante. Dans le cas des historiques de culture, un travail en collaboration avec des historiens et des archéologues permettrait d'affiner ces reconstructions. Néanmoins des améliorations du modèle lui-même doivent être envisagées en ce qui concerne la prédiction de la densité apparente d'une part et l'introduction de nouveaux mécanismes permettant d'expliquer le développement des horizons d'accumulation de fines dans les profils : des néoformations de minéraux argileux par altération des minéraux primaires notamment.

**Référence :** Finke, P.A., 2012a. Modeling the genesis of Luvisols as a function of topographic position in loess parent material. *Quaternary International* 265: 3-17.

**Remerciements :** Ce travail a bénéficié d'un financement ANR 10 Blanc 605-Agriped.

## **Approche expérimentale du lessivage : quantification et mécanismes**

QUENARD, Laurence<sup>1</sup>, COUSIN, Isabelle<sup>1</sup>, SAMOUËLIAN, Anatja<sup>2</sup>, CORNU,  
Sophie<sup>3</sup>

- 1- UR0272 SOLS, INRA Centre Val de Loire, F-45075 Orléans Cedex 2
- 2- UMR 1221 LISAH (INRA-IRD-SupAgro), 2 place Pierre Viala F- 34060 Montpellier, France LISAH, France
- 3- INRA, UR1119 Géochimie des Sols et des Eaux, F-13100 Aix en Provence, France

### **1. Introduction**

Le lessivage est décrit dans de nombreux types de sols, mais son existence est toujours sujet à questionnements quant à son importance dans la formation des sols et à la hiérarchisation des mécanismes qui le régissent. Des expérimentations en laboratoire de transfert de particules dans les sols permettent d'apporter des éléments de réponse à ces questions, mais les données disponibles dans la littérature montrent qu'elles n'ont pas été acquises dans des conditions expérimentales favorables au lessivage du sol : i) les protocoles expérimentaux choisis ne permettaient généralement pas de quantifier l'éluviation (départ de particules) ; ii) ces expériences ne simulent souvent qu'un ou quelques épisodes pluvieux et ne sont donc pas représentatives d'un processus long-terme comme le lessivage ; iii) aucune de ces expériences ne permet de mesurer l'illuviation (accumulation de particules en subsurface). Dans ce contexte, nous proposons deux expériences originales de pédogenèse in vitro sur des colonnes de sol, afin de quantifier l'éluviation et l'illuviation au cours du temps pour des conditions expérimentales favorables au lessivage et aussi près que possible des conditions de terrain. Les objectifs de ces expériences sont : i) la quantification de l'éluviation et de l'illuviation, ii) l'analyse des mécanismes agissant dans ces processus, et iii) l'impact de l'intensité de la pluie sur ces processus et sur les mécanismes qui les gouvernent.

### **2- Matériel et méthodes**

Pour ces expériences, deux horizons E de Luvisols développés dans des Löss différant par leur pH et leur minéralogie des argiles ont été choisis : un horizon E dit « L1 », d'un pH de 6,2 et contenant des smectites, donc a priori favorable à l'éluviation, et un horizon E dit « L2 », d'un pH de 7 donc a priori favorable à la rétention de particules, et ne contenant pas de smectites pour que d'éventuelles smectites entrantes dans cet horizon puissent être détectées. Des cylindres décimétriques (15 x 15 cm), non perturbés, ont été échantillonnés dans ces horizons. Des colonnes, consistant soit en un cylindre L1 seul pour caractériser l'éluviation, soit en une superposition d'un cylindre L1 sur un cylindre L2 pour caractériser l'illuviation, ont ensuite été construites. Elles ont subi chacune vingt-huit épisodes de pluie de 30 mm à l'aide d'un simulateur de pluie. Deux intensités de pluie ont été appliquées, 20 mm h<sup>-1</sup> et 6 mm h<sup>-1</sup>, choisies pour représenter respectivement une pluie d'orage et une pluie fine d'hiver (chaque colonne n'étant soumise qu'à une intensité). Après chaque événement pluvieux, une succion de -30 hPa a été appliquée à la base des colonnes jusqu'à la disparition du flacage à la surface du sol. Les colonnes ont ensuite séché jusqu'à ce que le potentiel matriciel à 5 cm de profondeur soit égal à -300 hPa, et qu'un nouvel événement pluvieux soit alors déclenché. Après chaque pluie ont été mesurés la quantité d'eau drainée, sa concentration en particules ainsi que la minéralogie et la distribution granulométrique des particules lessivées, et la composition chimique de la solution du sol.

### **3- Eluviation : quantification, sélectivité et mécanismes**

Les concentrations en particules obtenues à la base des colonnes L1 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans la littérature pour des dispositifs expérimentaux comparables, mais de natures de sol différentes. Ainsi, la libération des particules ne semble que peu dépendante du pH et tous les sols semblent libérer la même quantité de particules.

L'éluviation ne serait donc pas le mécanisme limitant le développement du lessivage. Par ailleurs, il est généralement considéré que le lessivage est sélectif des smectites. Cependant, dans notre expérience, les particules récupérées en sortie des colonnes L1 avaient une composition minéralogique proche de celle de la fraction 0-2  $\mu\text{m}$  de l'horizon L1, un enrichissement en smectites n'ayant été observé que pour les premiers épisodes de pluie à 20  $\text{mm h}^{-1}$ . Ainsi, la sélectivité de l'éluviation pour les smectites ne semble pas constante dans le temps, et ne se produirait qu'au début de l'expérience et pour de fortes intensités de pluie. Nous montrons également que la libération des particules est régie par i) l'intensité de la pluie pour les concentrations de base en particules, ii) le drainage rapide et les fortes succions pour les pics des concentrations et iii) la teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  de l'eau de drainage. Nous confirmons donc que les processus physiques et physico-chimiques sont responsables de la libération des particules, sans toutefois pouvoir déterminer leur contribution relative. Enfin, une diminution de la concentration en particules a été observée au cours du temps pour deux colonnes de sol, alors que des pics de concentrations sont observés pour les six autres. Ces deux types de comportement, déjà observés dans la littérature, peuvent être interprétés respectivement comme un épuisement progressif ou une régénération du stock de particules disponibles pour l'éluviation. Nous montrons que le stock de particules disponibles pour l'éluviation est sans doute régénéré par le changement de fonctionnement hydrodynamique des colonnes au cours du temps.

#### **4- Illuviation, quantification et mécanismes**

Les quantités de particules retenues dans l'horizon L2 ont été estimées par bilan de masse, sur l'hypothèse que les quantités de particules perdues des colonnes de L1 sont représentatives de celles entrant dans l'horizon L2 des colonnes L1/L2. Pour cela nous avons apparié des colonnes L1 et L1/L2 présentant un drainage cumulé équivalent. Nous avons ensuite comparé, pour les colonnes L1 et L1/L2 appariées, les quantités de particules libérées afin de déterminer si une fixation de particules avait eu lieu dans l'horizon L2. Si l'on considère, sur des arguments minéralogiques, que seulement 40 % des particules perdues à la sortie des colonnes L1/L2 viennent du L1, on quantifie alors que 25 à 90 % des particules libérées par l'horizon L1 ont été fixées dans l'horizon L2. Enfin, nous avons analysé l'impact des différents mécanismes (dynamique de drainage et chimie de l'eau du sol) sur la fixation des particules. Trois groupes de colonnes L1/L2 ont été identifiés sur la base de leur drainage rapide et de l'énergie cumulée de succion. La plupart des colonnes présentent soit une diminution de la capacité de percolation au cours de l'expérience soit une augmentation de l'énergie de succion appliquée à leur base, soit les deux. Ces évolutions sont typiques d'un colmatage de la structure. Aucune tendance claire entre les concentrations en particules collectées à la sortie des colonnes et le drainage rapide ou les succions élevées n'a été identifiée ; par contre, une diminution exponentielle des concentrations en particules avec l'augmentation de la conductivité de la solution du sol a été observée au cours des 17 premières pluies, après quoi les pics de particules sont apparus liés à des succions élevées ou une contribution importante du drainage rapide. Cette évolution suggère un colmatage de la colonne après les 17 premières pluies. La relation entre les concentrations des particules et la conductivité de l'eau du sol est classique du processus de floculation des particules.

#### **5- Conclusion**

Ces travaux présentent une analyse simultanée des mécanismes physiques et physico-chimiques intervenant dans les processus d'éluviation et d'illuviation. Ces deux types de mécanismes agissent avec une succession temporelle dans certains cas. Par ailleurs une estimation, certes très large, des quantités de particules fixées dans l'horizon d'illuviation a pu être donnée pour la première fois à notre connaissance. Nous montrons enfin que la structure des colonnes est probablement le paramètre clé de la compréhension des transferts dans la mesure où les colonnes de sols présentent des fonctionnements très contrastés, tous les autres paramètres étant constants par ailleurs.

**Remerciement :** Ce travail a bénéficié d'un financement ANR 10 Blanc 605 - AgriPed.

## **Rôle des conditions physicochimiques dans les processus de lessivage de particules argileuses au sein du réseau poral du sol**

**VAN DEN BOGAERT Romain<sup>1,2</sup>, CHIEB Nadjib<sup>1</sup>, CORNU Sophie<sup>2</sup>,  
LABILLE Jérôme<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> : Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, CEREGE UM34, 13545 Aix en Provence, France, labille@cerège.fr

<sup>2</sup> : INRA, UR 1119 Géochimie des Sols et des Eaux, F-13100 Aix en Provence, France

### **Introduction**

Le lessivage est un processus d'évolution des sols très répandu, qui consiste en une migration verticale de particules de petite taille (jusqu'à 2 voire 10  $\mu$  m) d'un horizon superficiel (éluviation) vers un horizon sous-jacent (Illuviation). Nous ne disposons pas à l'heure actuelle d'une connaissance complète des mécanismes qui gouvernent les trois phases de ce processus, départ, transfert et dépôt, ainsi que de leur hiérarchie spatiale et temporelle. Des mécanismes physiques tels que érosion et filtration permettent d'expliquer les trois phases du lessivage. Toutefois, dans une contribution encore inconnue, des mécanismes de nature physicochimique sont susceptibles de jouer également un rôle déterminant. Lors de l'infiltration de l'eau de pluie, les particules présentes dans la porosité active du sol (porosité où l'eau circule) sont soumises à la variation plus ou moins brutale de la physicochimie de la solution du sol. Or celle-ci influe fortement l'agrégation et la dispersion des particules fines du sol, qui sont des caractéristiques déterminantes pour le transfert colloïdal en milieu poreux. Ce travail a pour but de mieux contraindre le rôle des conditions physicochimiques sur le phénomène de lessivage.

### **Approche analytique**

La contribution des processus physicochimiques impliqués dans le lessivage a été contrainte par l'analyse de la dynamique colloïdale des particules argileuses, en fonction du pH et de la salinité de l'eau. Deux approches complémentaires ont été mises en œuvre : une étude en milieu dilué de la dynamique colloïdale des particules fines du sol ; et une étude en colonne de percolation de la génération de particules fines percolant dans le milieu poreux. Dans les deux cas, la composition physicochimique de la solution (pH et concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$ ) a été choisie dans des gammes représentatives de la solution du sol ( $5 < \text{pH} < 8$ ,  $10^{-6} < \text{Ca}^{2+} < 10^{-3}$  mol/L), et les effets engendrés sur le système ont été mesurés au cours du temps. Une échelle de temps de quelques heures a été choisie afin de coller au mieux au temps de séjour de l'eau s'infiltrant dans le sol. Cette échelle de temps est également représentative des réactions acido-basiques et d'échanges cationiques qui se produisent à la surface des particules argileuses lors de changement de la solution. Les expériences ont été réalisées à partir d'échantillons de sol réel, un luvisol L1, contenant des argiles de type smectite qui sont favorables au phénomène de lessivage. De plus, des minéraux purs de smectite analogue ont également été étudiés afin de mieux distinguer la réactivité de cette argile au sein du système sol.

*Dynamique colloïdale en milieu dilué* - Les facteurs pH et concentration en cation  $\text{Ca}^{2+}$  déterminent grandement la stabilité colloïdale des particules d'argile en suspension. Leur agrégation ou dispersion a été mesurée au cours du temps par diffraction laser en fonction de ces paramètres croisés. Pour cela, la fraction fine du luvisol L1 inférieure à  $2 \mu\text{m}$  a été extraite et utilisée en suspension colloïdale aqueuse à  $100 \text{ mg/L}$ . L'argile pure smectite a été utilisée sans fractionnement. Pour reproduire l'évolution des suspensions de sol sous l'effet des précipitations et au cours de l'infiltration, deux approches ont été réalisées : (i) une acidification ou basification brutale de la solution, à différentes concentrations en sel, pour la gamme des valeurs de pH classiquement rencontrées dans les sols ; (ii) une chute brutale de la concentration en cation  $\text{Ca}^{2+}$ , à différents pH, afin de simuler la diminution de force ionique liée à l'arrivée d'eau de pluie. Dans les deux cas, les conséquences sur la dynamique colloïdale ont été mesurées. La structuration des tactoïdes ou agrégats d'argile a également été étudiée par diffusion statique de la lumière, diffraction des rayons X et microscopie électronique à balayage en mode cryogénique.

*Génération de colloïdes en colonne de percolation* – Un milieu poreux constitué à 95% de quartz de  $500 \mu\text{m}$  et de 5 % d'argile ou du luvisol L1 a été préparé par mélange à sec. L'expérience de percolation a été réalisée en régime saturé, en circulation ascendante à un débit de  $0,7 \text{ mL/min}$  afin de minimiser les effets d'érosion mécanique. Les particules colloïdales générées au sein du réseau poral et percolant à travers la colonne étaient mesurées par diffusion de lumière en flux continu, ainsi que par turbidité et poids sec sur fractions collectées. Une gamme de valeurs de pH et de concentrations en calcium a été étudiée de manière croisée.

## Résultats

L'acidification de la solution tend à agréger les particules d'argile issues du luvisol. Inversement, l'augmentation du pH tend à les disperser. Une analogie forte est observée entre ces minéraux de sol et les smectites pures largement étudiées par ailleurs. La protonation / déprotonation des bords de feuillets d'argile en fonction le pH est certainement responsable de ces observations ainsi que les associations inter-particulaires que ces mécanismes génèrent. Par ailleurs, la concentration en cations  $\text{Ca}^{2+}$  module la réponse du système lors d'une perturbation de pH. Plus cette concentration est initialement élevée, moins le changement de pH a un impact important sur la dispersion colloïdale car l'effet coagulant du cation tend à tamponner l'état d'agrégation de l'argile.

En milieu poreux saturé, la concentration du cation compensateur  $\text{Ca}^{2+}$  a un rôle déterminant sur la génération de colloïdes, alors que le pH a un effet modéré. Pour une concentration en cation supérieure à la concentration critique de coagulation, la percolation de particules d'argile est nulle car leur agrégation limite leur mobilisation. En revanche, à plus faible force ionique, les conditions sont favorables à la dispersion colloïdale et induisent une génération de particules percolant significative, de l'ordre de  $500 \text{ mg/L}$ , soit  $0,3 \text{ mg/min}$ .

**Remerciements** : Ce travail a bénéficié d'un financement ANR 10 Blanc 605-Agriped.

## La teneur en eau à proximité des macropores influence t-elle la rétention des particules colloïdales dans les sols structurés ?

VAN DEN BOGAERT Romain<sup>1,3</sup>, MICHEL Eric<sup>1,2</sup>, CORNU Sophie<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : INRA, UMR1114 EMMAH, Avignon, France

<sup>2</sup> : UAPV, UMR1114 EMMAH, Avignon, France

<sup>3</sup> : INRA UR1119, GSE, Aix en Provence, France

### Introduction

Le transport de particules colloïdales joue un rôle primordial dans le transfert de polluants à travers la zone critique vers les nappes d'eau souterraine. Par ailleurs, le transport et la rétention de particules colloïdales est un processus majeur de formation des sols, le lessivage. Les mécanismes du transport et de la rétention de ces particules colloïdales dans les sols restent cependant mal compris, particulièrement dans les sols non perturbés lorsque des écoulements préférentiels ont lieu dans les pores les plus gros du sol (macropores). Cependant certaines études montrent que les particules retenues sont localisées à la surface des macropores et dans la matrice, à proximité des zones d'écoulements préférentiels (Cey et al., 2009). Le gradient de pression matricielle existant entre les macropores et la matrice contrôle le mouvement de l'eau de ces macropores vers la matrice. Il est probable que ce flux d'eau entraîne les colloïdes vers et à travers l'interface macropores / matrice, provoquant leur rétention. Cette étude a pour objectif de tester cette hypothèse et de quantifier l'effet de la teneur en eau initiale de la matrice sur la rétention des colloïdes dans des colonnes de sol non remanié, dans le cas d'écoulements non-saturés. Ce travail a bénéficié d'un financement ANR 10 Blanc 605-Agriped.

### Matériel et méthodes

Quatre colonnes de sol non remanié (3 Luvisol, 1 Calcisol) sont soumises à des pluies simulées successives, en laboratoire. Ces pluies de 20 mm sont appliquées durant 1h avec de l'eau contenant des microsphères de polystyrène de 0,5  $\mu\text{m}$  de diamètre teintées dans la masse par des fluorophores. Les fluorophores sont de couleurs différentes selon les pluies. Afin de faire varier la teneur en eau de la matrice à proximité des macropores, les pluies appliquées sur les colonnes sont espacées de temps de pause croissants s'étalant de 23 à 335 heures. Les masses des colonnes et de l'eau drainée, la concentration en colloïdes naturel, en microsphères et la conductivité des effluents sont suivis dans le temps au cours de la pluie et jusqu'à la fin du drainage. La concentration en microsphères des effluents est mesurée par cytométrie de flux. Cette méthode permet d'identifier et de quantifier les microsphères, parmi les colloïdes naturels du sol (jusqu'à un ratio de 1 pour  $10^6$ ), en fonction de leur fluorescence (Wulff et al., 2006).

### Résultats

L'évolution typique du taux de restitution ( $C/C_0$ ) (Figure 1) suit les mêmes tendances pour tous les temps de pause : il augmente durant les 20 premières minutes, atteint un plateau ou pseudo plateau puis chute brusquement juste après l'arrêt de la pluie, à une heure. D'autre part, nous mettons en évidence un effet du temps de pause sur le taux de restitution des microsphères : plus la durée de la pause est longue moins le taux de restitution est important.



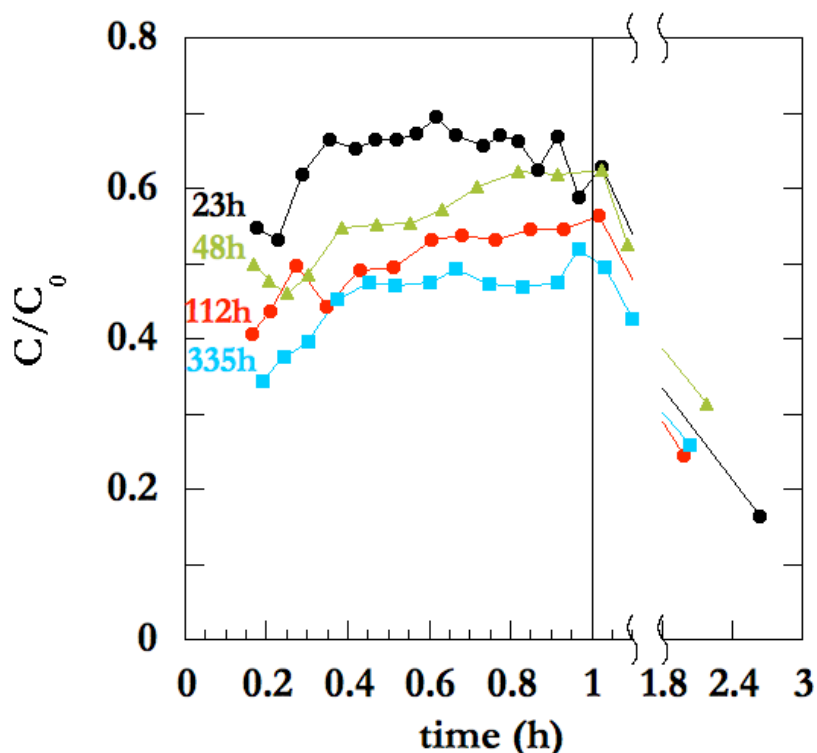


Figure 1. Evolution temporelle du taux de restitution de microsphères fluorescentes dans une colonne de Luvisol à structure intacte, au cours de pluies survenant après différents temps de pause, indiqué à gauche des courbes. L'arrêt de la pluie est figuré par la barre verticale noire, à 1h.

Notre protocole expérimental permet également de suivre la restitution aux pluies « n+1 » et « n+2 », des microsphères fixées dans le sol à la pluie « n ». Nous constatons qu'à la pluie « n+2 », le taux de restitution global n'augmente que de 0,5 à 1,7 %.

### Discussion - conclusion

L'augmentation de la rétention des microsphères dans la colonne avec l'augmentation du temps de pause entre 2 pluies met en évidence un contrôle de l'état hydrique de la matrice à proximité des macropores sur la rétention de particules colloïdales dans les sols. La variation de la teneur en eau étudiée dans le cadre de cette étude permet d'expliquer jusqu'à 15% de la rétention des colloïdes. Cet effet n'est cependant pas encore pris en compte dans les modèles de transport de particules dans les sols insaturés.

La remobilisation de particules pourrait avoir des conséquences importantes dans le cas de colloïdes polluants, pathogènes (virus, bactéries) ou vecteurs de polluants dont un faible nombre suffit à causer des risques pour la santé publique. A cette échelle de temps il ne nous est cependant pas permis de tirer des conclusions quand à l'impact de la remobilisation de particules sur le processus de lessivage.

### Références

Cey, E.E., Rudolph, D.L., Passmore, J., 2009. Influence of macroporosity on preferential solute and colloid transport in unsaturated field soils. *J. Contam. Hydrol.* 107, 45–57. doi:10.1016/j.jconhyd.2009.03.004

Wulff, S., Martin, K., Vandergaw, A., Boenisch, T., Brothrick, I., Hoy, T., Hudson, J., Jespersgaard, C., Lopez, P., Orfao, A., 2006. Guide to flow cytometry. Dako Cytomation.

## **Reconnaissance spatiale et dynamique des écoulements préférentiels et de l'interface eau-macropores dans les sols structurés**

**VAN DEN BOGAERT Romain<sup>1,3</sup>, SAMMARTINO Stéphane<sup>2</sup>, MICHEL Eric<sup>1</sup>, CORNU Sophie<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> : INRA, UMR1114 EMMAH, Avignon, France

<sup>2</sup> : UAPV, UMR1114 EMMAH, Avignon, France

<sup>3</sup> : INRA UR1119, GSE, Aix en Provence, France

### **Introduction**

La diffusion de polluants dans l'environnement ainsi que les mécanismes majeurs de la pédogénèse tel que le lessivage, sont fortement conditionnés par l'existence d'écoulements préférentiels. Ces derniers régulent le transfert de l'eau et la mobilité des particules en suspension dans les sols. L'accessibilité croissante aux techniques d'imageries 3D telles que la tomographie d'absorption de rayons X permet d'accéder à la structure interne du sol, et même de suivre la dynamique de l'écoulement en trois dimensions [1]. Des verrous scientifiques peuvent maintenant être levés, en estimant à l'échelle de la colonne, la partie active de la porosité lors de l'infiltration de l'eau ainsi que la surface de contact entre l'eau d'infiltration et les macropores. A notre connaissance, peu de données quantitatives de ce type existent malgré leur importance pour la compréhension et la modélisation des processus de transferts masse dans les milieux poreux hétérogènes. Seules quelques études se sont penchées sur l'estimation de cette surface de contact [2], et sur son rôle dans les transferts d'eau et sur la mobilité des colloïdes associés [3-6]. Par ailleurs, il n'existe pas de données en lien avec le régime hydrodynamique qui permettent d'estimer l'évolution temporelle de cette surface au cours de l'infiltration. Dans le cadre de cette étude, l'infiltration de l'eau dans des colonnes de Luvisols, à structure initiale préservée, a été suivie grâce à des images 3D obtenues en tomographie d'absorption de rayons X avec un scanner médical [1]. Ces images ont été acquises au cours de pluies simulées en laboratoire. Ce travail a été réalisé avec le support financier de l'Agence Nationale de la Recherche (Projet non thématique AgriPed, <http://agriped.cerege.fr/doku.php>).

### **Matériel et méthodes**

Quatre colonnes de Luvisol à structure initiale préservée ont été soumises à des pluies contrôlées en laboratoire au cours desquelles des images de tomographie d'absorption de rayons X ont été acquises avec un scanner médical. Deux intensités de pluie, 6 mm/h et 20 mm/h, ont été choisies pour simuler une pluie fine et une pluie d'orage. La macroporosité ainsi que l'eau d'infiltration ont été seuillées selon la méthode proposée par [1]. Les paramètres morphologiques et topologiques, caractérisant le volume, la surface, et la connexité des objets 3D « macropores labélisés » et « voxels eau » sont moyennés par volumes ou par coupes à chaque pas de temps ou étudiés par compartiments de porosité. Une méthode permettant de réaliser l'intersection entre la surface des macropores et l'eau d'infiltration dans la porosité a été développée, à partir d'un logiciel de traitement et d'analyse d'image 3D (logiciel Avizo®Fire, FEI Visualization Sciences Group, <http://www.vsg3d.com/>) et permet de quantifier l'évolution de cette interface durant la pluie simulée.

### **Résultats**

La surface de contact eau/macropore a été quantifiée. Elle varie entre 0,08 et 0,13 m<sup>2</sup> selon les colonnes. Cette surface représente 30 à 36 % de la surface totale des macropores. Pour les 4 colonnes, on observe une augmentation de la surface mouillée jusqu'à un plateau

dont la hauteur dépend de l'intensité de la pluie appliquée. Les colonnes à  $20 \text{ mm h}^{-1}$  présentent une surface mouillée plus importante (36%) que les colonnes à  $6 \text{ mm h}^{-1}$  (30%).

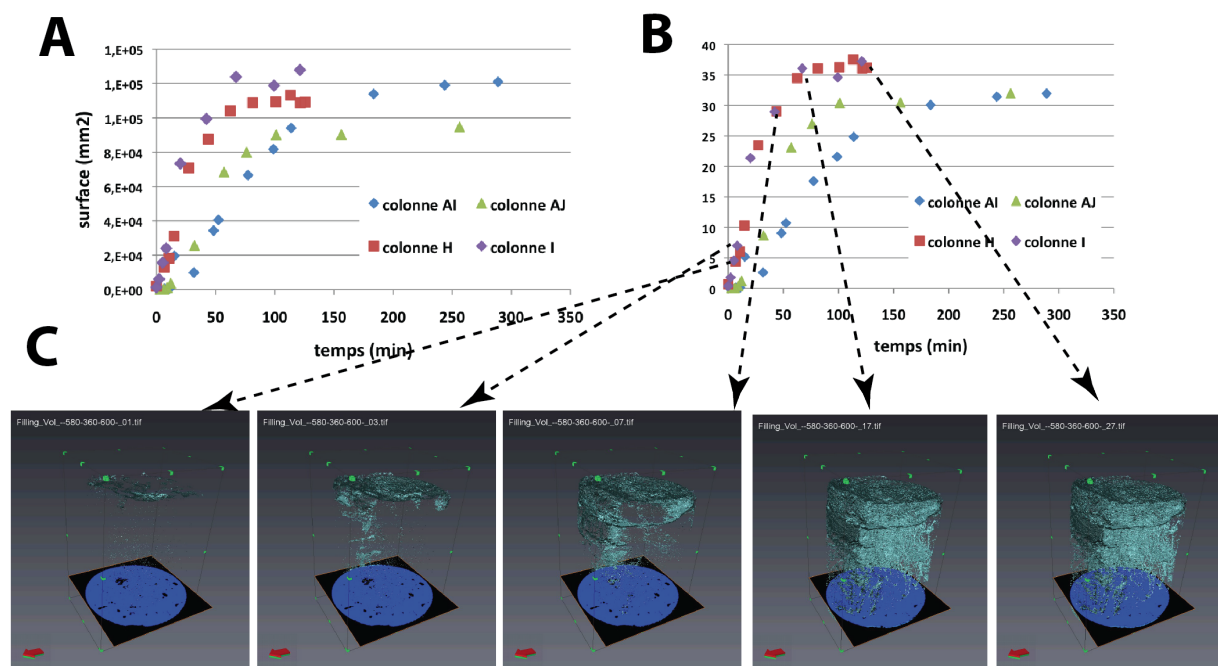


Figure 1. Evolution de la surface d'interaction entre les macropores et l'eau en fonction du temps pour 4 colonnes de Luvisols à structure non remaniée. a) Surface mouillée des macropores en fonction du temps. b) % de la surface totale des macropores mouillée en fonction du temps. c) Visualisation 3D de la surface mouillée en fonction du temps.

## Conclusion

Même en condition de pluie intense, la surface mouillée reste très inférieure à la surface totale de la macroporosité. Notre estimation dynamique de la surface eau/macropores est une première étape vers une meilleure description des processus d'écoulement et de mobilisation des colloïdes dans les macropores. Ce résultat est important pour la paramétrisation des modèles de transfert d'eau à doubles compartiments.

## Références

- [1] Sammartino, S., Michel, E., Capowiez, Y., 2012. A Novel Method to Visualize and Characterize Preferential Flow in Undisturbed Soil Cores by Using Multislice Helical CT. *Vadose Zone J.* 11, 0–0. doi:10.2136/vzj2011.0100
- [2] Gerke, H.H., 2012. Macroscopic Representation of the Interface between Flow Domains in Structured Soil. *Vadose Zone J.* 11, 0. doi:10.2136/vzj2011.0125
- [3] Cey, E.E., Rudolph, D.L., Passmore, J., 2009. Influence of macroporosity on preferential solute and colloid transport in unsaturated field soils. *J. Contam. Hydrol.* 107, 45–57. doi:10.1016/j.jconhyd.2009.03.004
- [4] Jiang, G., Noonan, M.J., Buchan, G.D., Smith, N., 2005. Transport and deposition of *Bacillus subtilis* through an intact soil column. *Soil Res.* 43, 695–703.
- [5] Kretschmar, R., Robarge, W.P., Amoozegar, A., 1994. Filter efficiency of three saprolites for natural clay and iron oxide colloids. *Environ. Sci. Technol.* 28, 1907–1915.
- [6] Levin, J., Herman, J., Hornberger, G., Saiers, J., 2006. Colloid mobilization from a variably saturated, intact soil core. *Vadose Zone J.* 5, 564–569. doi:10.2136/vzj2005.0102

## Flux hétérogène de l'eau dans un milieu à double porosité visualisé par Tomographie à rayon X

DUWIG Céline<sup>1</sup>, PENG Zhe<sup>1</sup>, DELMAS Patrice<sup>2</sup>, GAUDET Jean Paul<sup>1</sup>, GASTELUM STROZZI Alfonso<sup>3</sup>, CHARRIER Pascal<sup>4</sup>, DENIS Hervé<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: IRD /UJF-Grenoble 1/CNRS, LTHE, Grenoble, France [celine.duwig@ujf-grenoble.fr](mailto:celine.duwig@ujf-grenoble.fr)

<sup>2</sup>: The University of Auckland, Computer Science, Auckland, New Zealand [p.delmas@auckland.ac.nz](mailto:p.delmas@auckland.ac.nz)

<sup>3</sup>: UNAM, CCADET, Ciudad Universitaria, Mexico Ciudad, Mexico [gastelum.strozzi@gmail.com](mailto:gastelum.strozzi@gmail.com)

<sup>4</sup>: UJF-Grenoble 1/CNRS, 3SR, Grenoble, France [pascal.charrier@3sr-grenoble.fr](mailto:pascal.charrier@3sr-grenoble.fr)

### Introduction

La compréhension du transport hétérogène de l'eau dans les milieux poreux est une question centrale en science du sol et plus généralement en géosciences. Les processus de transport sont dominés par les phénomènes à l'échelle du pore, qui dépendent de la composition de la matrice du sol et de la géométrie des pores. Comme la continuité de phases de l'eau et de l'air est déterminée par la connectivité des pores dont la taille peut varier du micron au millimètre, la quantification du transport doit être effectuée à l'échelle du pore. La tomographie à rayon X est une technique puissante pour la mesure non destructrice de la structure d'un objet statique et pour déterminer les paramètres géométriques (Perret et al., 1999). Pour autant, son potentiel pour l'expérimentation dynamique n'a pas totalement été exploité. Son application pour les études de transport a été limitée par des acquisitions lentes des images et/ou par des faibles résolutions spatiales (Maruyama et al., 2003 ; Sammartino et al., 2012). A notre connaissance, une approche dynamique de la visualisation 3D du flux d'eau à l'échelle microscopique et macroscopique (échelle du pore et de l'échantillon, respectivement) n'a pas encore été proposée. Notre étude est basée sur un compromis entre une bonne échelle spatiale et une haute résolution temporelle. Le but de ce travail est de suivre et caractériser les chemins des flux d'eau, en utilisant la tomographie à rayon X (CT) pour imager des expériences dynamiques à une résolution spatiale à l'échelle microscopique et à des incréments temporels réguliers.

### Matériels and méthodes

Le mouvement de l'eau a été suivi en 3D par imagerie CT à travers un milieu poreux à double porosité (DP) composé de deux matériaux distincts: du sable et des sphères poreuses en argile. Les deux matériaux ont été empaquetés dans une colonne en verre de 2.5 cm de diamètre interne de façon périodique en cellules de taille 0.9 x 0.9 x 0.9 cm<sup>3</sup> (Fig.1), selon Lewandowska et al. (2008). L'acquisition des images CT a été ajustée à la vitesse de l'eau dans les pores permettant d'enregistrer le front de déplacement de l'eau toutes les 25 min à une résolution spatiale de 60µm. Le même dispositif a été mis en place pour le sable seul.

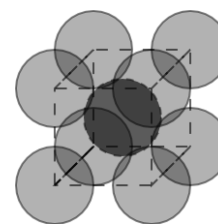


Figure 1: cellule périodique

La méthode traditionnelle de segmentation ne pouvant pas être appliquée à nos images, nous avons dû trouver une méthode alternative basée sur la soustraction des images acquises à un état humide par celle acquise à l'état sec. En vérifiant que la structure interne du sol soit bien restée statique (à la résolution spatiale considérée) pendant les acquisitions d'images CT, cette méthode a permis d'extraire l'évolution de la distribution de l'eau en

fonction du temps, à une résolution spatiale de 60  $\mu\text{m}$ . Les résolutions temporelle ainsi que spatiale atteintes dans cette étude sont relativement élevées en comparaison d'autres études dynamiques de la littérature.

### Resultats et discussions

Afin de déterminer les paramètres hydro-dispersifs du milieu DP, une courbe d'élution du Br, considéré comme traceur de l'eau, a été suivi en sortie de colonne. L'ajustement d'une solution analytique de l'équation de Convection Dispersion donne une dispersivité de 0.13 cm à comparer avec 0.07 cm dans le sable seul, à la même vitesse de Darcy. Alors que le mouvement de l'eau était en équilibre physique dans la colonne de sable, il est en non équilibre dans le milieu DP avec un ratio d'eau mobile de 0.86.

Le calcul de la teneur en eau et son évolution dans le temps montre que la teneur en eau moyenne dans une couche périodique correspond à la porosité inter-agrégat (entre le sable et les billes d'argiles) et donc que l'infiltration de l'eau dans les sphères poreuses est minimale. La reconstruction 3D des images obtenues par soustraction (Fig. 2) montre que le front d'infiltration de l'eau est hétérogène, corroborant le résultat obtenu par traçage du Br dans la colonne.

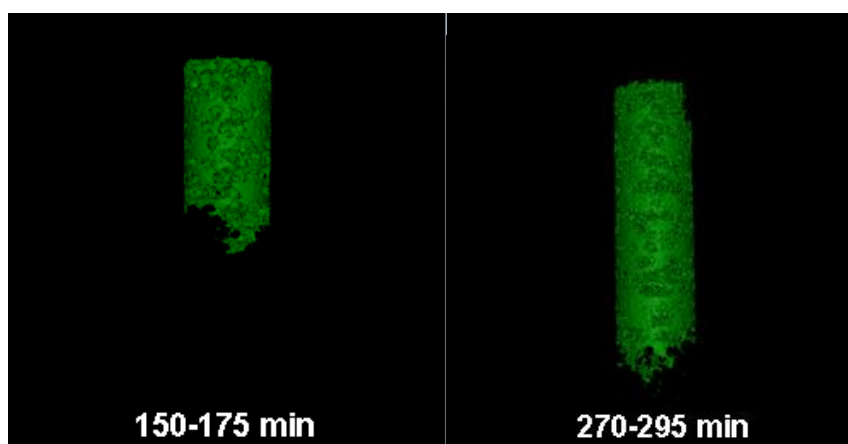


Fig. 2 3D water volume reconstruction at different time ranges of the infiltration

### Conclusions

Afin de pouvoir observer le flux d'eau à fine résolution, nous avons pu suivre le déplacement de l'eau en combinant de l'imagerie en Tomographie à rayon X et une méthode de segmentation d'images par soustraction d'images (dynamiques moins statiques). La distribution de l'eau a été extraite en 2D et 3D à différents incréments de temps. La reconstruction 3D de la distribution de l'eau montre que le front d'eau a une forme hétérogène, dû à l'hétérogénéité du milieu à double porosité, conduisant au transfert de l'eau en non équilibre physique.

### References

- Lewandowska, J., Tran Ngoc, T.D., Vauclin, M., Bertin, H. (2008). Water drainage in double-porosity soils: Experiments and micro-macro modeling. *J. Geotech. Geoenviron.* 134(2), 231-243
- Maruyama, T., Tada, A., Iwama, K. & Horino, H., (2003). Direct observation of soil water movement through soil macropores using X-rays and stereographing. *Soil Science*, 168, 119-127.
- Perret, J., Prasher, S.O., Kantzas, A. & Langford, C., (1999). Three-dimensional quantification of macropore networks in undisturbed soil cores. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 1530-1543
- Sammartino, S., Michel, E., Capowiez, Y. (2012). A novel method to visualize and characterize preferential flow in undisturbed soil cores by using multislice helical CT. *Vadose Zone J.* doi:10.2136/vzj2011.0082

### Acknowledgments

This project and post-doc scholarship for Z. Peng have been funded by a specific grant awarded by Grenoble Institute of Technology. We thank J.F. Daian for the help in using XDQ software.

# Quantification de l'intensité de l'activité biologique par analyse d'images de lames minces de sol : mise au point méthodologique et quantification de l'impact de 250 ans de mise en culture

**BAJARD Manon<sup>1</sup>, MONTAGNE David<sup>1</sup>, GILLIOT Jean-Marc<sup>1</sup>, SAUZET Ophélie<sup>1</sup>, CAMMAS Cécilia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>: UMR 1091 Environnement et Grandes Cultures, INRA-AgroParisTech, Avenue Lucien Brétignières F-78 850 Thiverval-Grignon, manon.bajard@agroparistech.fr

<sup>2</sup>: Inrap, UMR 5140, Equipe Sol-DMOS, AgroParisTech, cecilia.cammas@inrap.fr

## 1. Introduction

L'homme est connu pour modifier les propriétés et les processus de fonctionnement des sols (Montagne et al., 2013). La bioturbation engendrée par le déplacement d'organismes dans le sol ou la croissance racinaire est à la fois un phénomène majeur du fonctionnement des sols et l'un des moins renseignés (Samouelian et Cornu, 2008). Elle est à l'origine de la création et de l'entretien d'un réseau de pores dont le nombre et la taille reflètent l'activité passée et présente (Lamandé et al., 2011) des racines, de la mésofaune et de la macrofaune. L'analyse micromorphologique de lames minces de sol offre la possibilité d'obtenir à la fois des informations sur la taille, la forme, la nature, l'orientation ou la distribution spatiale des pores du sol et a fréquemment été utilisée pour caractériser le système poral des sols (Bruneau et al., 2004). Ce travail se propose ainsi i) de développer une méthode de quantification de la bioturbation à partir de la quantification et de la caractérisation de la macroporosité par approche micromorphologique couplée à l'analyse d'image et ii) d'évaluer l'impact de la mise en culture sur l'intensité de la bioturbation.

## 2. Matériel et méthodes

Deux luvisols du plateau des Alluets-le-Roi dans les Yvelines ont été sélectionnés : l'un sous forêt considéré comme référence, et le second cultivé depuis au moins 250 ans. Des blocs de sols à structure conservée ont été prélevés à partir de 30 cm sous la surface et tous les 10 cm jusqu'à 1 m de profondeur. Des blocs supplémentaires ont été prélevés latéralement dans l'horizon BT du luvisol sous culture afin de quantifier la variabilité des caractéristiques de l'espace poral aux échelles centimétrique et métrique. Après imprégnations, des lames minces de sol de 6 x 14 cm et de 25 µm d'épaisseur ont été fabriquées.

Les lames minces de sol ont été numérisées sur une surface de 57,4 cm<sup>2</sup> avec une résolution de 5,3 µm par pixel. Sur ces différentes images, le nombre et la surface totale des poroïdes de diamètre de pore équivalent supérieur à 100 µm, classiquement associés à l'activité biologique (Gobat et al., 2010 ; Stoops et al., 2010), puis la taille de chacun de ces poroïdes, ont été mesurées par analyse d'image (imageJ et ArcGIS®). La forme des poroïdes a été caractérisée par le rapport entre la surface du cercle circonscrit au poroïde et sa surface. Les quantifications de la porosité ont été validées par comparaison à une identification manuelle de la porosité sur environ 10 % de la surface de la lame. Enfin, les surfaces élémentaires représentatives de la porosité totale et de chaque type de porosité identifiées sur la base des critères de taille et de forme des poroïdes ont été mesurées afin de vérifier l'indépendance de ces quantifications par rapport à la surface analysée.

## 3. Résultats

Nous avons pu démontrer par comparaison avec l'identification manuelle de la porosité que la méthode automatique développée dans ce travail détecte de manière très satisfaisante l'ensemble des poroïdes de taille supérieure à 100 µm.

Sur la base des critères de taille et de forme, et avec l'appui bibliographique, cinq classes de pores ont été distinguées et attribuées respectivement à l'activité des vers anéciques et endogés, à l'activité racinaire et aux processus physiques de type retrait-gonflement. La



dernière catégorie, qualifiée de porosité d'assemblage, rassemble les pores de taille inférieure à 1 mm et de forme irrégulière. Elle n'a pas pu être attribuée à un agent spécifique (Tableau 1). La surface des images analysées est supérieure aux surfaces élémentaires représentatives mesurées pour la porosité totale et pour la porosité liée aux différents agents identifiés sauf dans le cas de la porosité associée aux vers endogés.

**Tableau 1 : Classification de la typologie de la macroporosité par agents.**

Taille EPD		100-500µm	500µm-1mm	1-2mm	2-5mm	>5mm
<b>Forme</b>	Surface	0.00785-	0.19625-0.785	0.785-3.14	3.14-19.625	>19.625
<b>ICC</b>	mm <sup>2</sup>	0.19625				
<b>ICC&lt;3</b>	<b>Arrondis</b>	RACINES			ENDOGES	ANECIQUES
<b>3&lt;ICC&lt;5</b>	<b>Irréguliers</b>	POROSITE D'ASSEMBLAGE				
<b>ICC&gt;5</b>	<b>Allongés</b>	FENTES				

Les 250 ans de mise en culture se sont accompagnés d'une augmentation de l'abondance de la porosité de taille supérieure à 2 mm. Par ailleurs, alors que cette porosité disparaît en dessous de 55 cm de profondeur sous forêt, elle reste quantifiable à un mètre de profondeur sous culture. La mise en culture s'est donc traduite par i) une augmentation de l'activité des vers endogés et anéciques et ii) une distribution de leur activité plus en profondeur. Ces différences ont été notamment attribuées à l'augmentation du pH du sol suite aux pratiques de chaulage et au travail du sol. A l'inverse, le nombre de poroïdes de formes arrondies et de taille inférieure au millimètre a diminué d'environ 30 % avec la mise en culture et ce principalement dans les horizons les moins profonds. Ce résultat suggère une diminution de l'activité racinaire avec la mise en culture. Enfin, la porosité liée aux processus physiques de retrait-gonflement (fentes) s'est révélée être relativement stable dans les deux luvisols soulignant la dépendance de l'intensité de ces processus à la nature des sols.

#### 4. Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons pu développer et valider une méthode de quantification de l'activité biologique à partir de la quantification et de la caractérisation de la macroporosité d'origine biologique par approche micromorphologique couplée à l'analyse d'image. La mise en culture se traduit par une augmentation de l'activité lombricienne et au contraire une diminution de l'activité racinaire. Cette plus grande activité des vers endogés et anéciques entraîne la formation d'une porosité de très grande taille pouvant être le lieu de transferts préférentiels d'eau, d'éventuels contaminants issus des activités agricoles, et de particules argileuses fines, pouvant intervenir dans les processus d'éluviation/illuviation.

**Mots clés :** pédogénèse - bioturbation - macroporosité - poroïdes - vers de terre - racines - usage des sols.

#### REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'un financement ANR (ANR-10-Blanc-605).



#### BIBLIOGRAPHIE

- Bruneau, Patricia M.C, Donald A Davidson, et Ian C Grieve. « An evaluation of image analysis for measuring changes in void space and excremental features on soil thin sections in an upland grassland soil ». *Geoderma* 120, no 3 4 (juin 2004): 165 175. doi:10.1016/j.geoderma.2003.08.012.
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010. Le sol vivant - Bases de pédologie, Biologie des sols 3e édition. Presses polytechniques et universitaires romandes, 846 pp.
- Montagne, D., Cousin, I., Josière, O., Cornu, S., 2013. Agricultural drainage-induced Albeluvisol evolution: A source of deterministic chaos. *Geoderma* 193–194(0), 109-116.
- Samouelian, A., Cornu, S., 2008. Modelling the formation and evolution of soils, towards an initial synthesis. *Geoderma* 145(3-4), 401-409.
- Stoops, G., Marcelino V., Mees F., 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Amsterdam : Elsevier. 720 pp.
- Lamandé, Mathieu, Rodrigo Labouriau, Martin Holmstrup, Søren B. Torp, Mogens H. Greve, Goswin Heckrath, Bo V. Iversen, Lis W. de Jonge, Per Moldrup, et Ole H. Jacobsen. « Density of macropores as related to soil and earthworm community parameters in cultivated grasslands ». *Geoderma* 162, no 3 4 (mai 2011): 319 326. doi:10.1016/j.geoderma.2011.03.004.

## **Evolution de la structure de Luvisols soumis à une alternance de pluies et séchages contrôlés - Morphologie, connectivité et éluviation à l'échelle de la colonne**

**SAMMARTINO Stéphane<sup>1</sup>, VAN DEN BOGAERT Romain<sup>2,3</sup>, CORNU Sophie<sup>3</sup>, COUSIN Isabelle<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> : UMR1114 Emmah, UAPV, Transferts en milieux poreux hétérogènes, Centre d'Avignon, Bâtiment sol, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cédex 9

<sup>2</sup> : UMR1114 Emmah, INRA, Transferts en milieux poreux hétérogènes, Centre d'Avignon, Bâtiment sol, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cédex 9

<sup>3</sup> : UR1119, GSE, INRA, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, Avenue Philibert – BP 80, Bâtiment Laennec, 13545 Aix-en-Provence cedex 04

<sup>4</sup> : UR0272, INRA, Sciences du Sol, Centre Val de Loire - Site d'Orléans, 2163 avenue de la pomme de pin - CS 40001 Ardon 45075 ORLEANS Cedex 2

### **Introduction**

Les Luvisols sont des sols au sein desquels le phénomène de lessivage est particulièrement présent. Ce processus de pédogénèse consiste en un transfert de particules fines (fraction infra 2 $\mu$ m) d'un horizon superficiel (E) vers un horizon sous-jacent (Bt). Afin de quantifier l'évolution de la structure d'un horizon (E) ainsi que l'éluviation à l'échelle de la colonne, des échantillons de Luvisols, à structure initiale préservée, ont été soumis à des cycles pluies-séchages contrôlés simulés en laboratoire. En effet, les contraintes mécaniques produites par des cycles humectation-dessiccation ainsi que les contraintes de cisaillement générées par le mouvement de l'eau dans les macropores sont des facteurs favorisant la mobilisation des particules. Par ailleurs, l'action mécanique des gouttes de pluies à la surface du sol est également un facteur de mobilisation particulière et de déstructuration superficielle [1]. L'évolution de la macroporosité des colonnes a été quantifiée grâce à des images 3D obtenues en tomographie d'absorption de rayons X avec un scanner médical [2]. Ce travail a été réalisé avec le support financier de l'Agence Nationale de la Recherche (Projet non thématique AgriPed, <http://agriped.cerege.fr/doku.php>).

### **Matériel et méthodes**

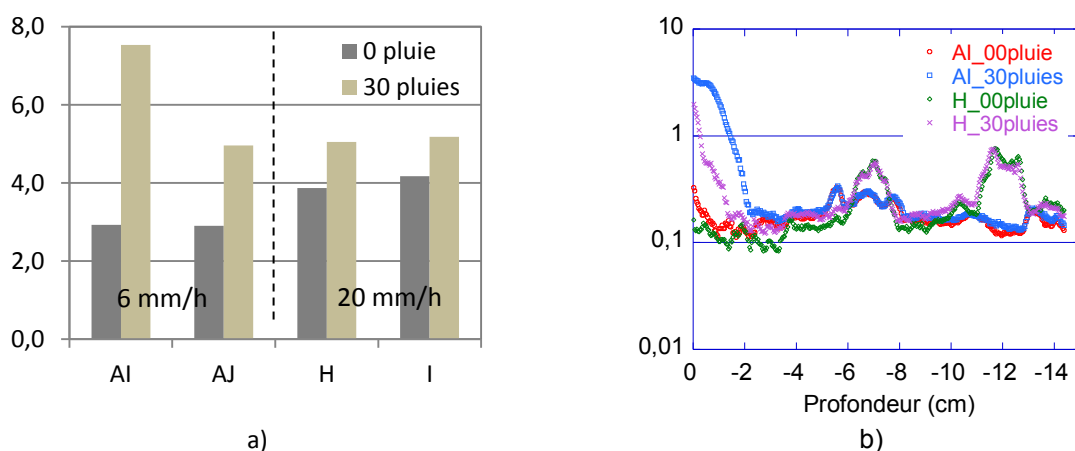
Quatre colonnes de Luvisol à structure initiale préservée (réf. AI, AJ, H et I) ont été soumises à des cycles pluies - séchages contrôlés en laboratoire pendant une période de 3 ans. Deux intensités de pluie, 6 mm/h (pour AI et AJ) et 20 mm/h (pour H et I), ont été choisies pour simuler une pluie fine et une pluie d'orage. Entre chaque pluie, les colonnes drainent à température ambiante jusqu'à ce que leur potentiel matriciel atteigne la valeur de  $-300 \pm 50$  hPa [1]. Les acquisitions d'images 3D ont été réalisées avant la première pluie, afin d'obtenir une référence structure-état hydrique et après la 30<sup>ième</sup> pluie. La macroporosité a été seuillée selon la méthode proposée dans [2]. Des paramètres morphologiques (volume, surface, taille et forme) et la connexité des objets 3D labélisés sont exprimés moyennés par volume ou par coupe (profil sur la hauteur de la colonne). L'approche de caractérisation sera réalisée en fonction de la connexion des macropores aux surfaces supérieure et inférieure de la colonne comme décrit dans [3]. Les d'images 3D ont été recalées par rapport aux images références, dans les trois directions de l'espace et en rotation, avec une procédure de recalage spécifique basée sur la minimisation de la variance des sections soustraites. Les images soustraites (images 3D [t>0] – images 3D [t =0]) permettent de localiser les variations volumiques de la structure et les mouvements de matière.

### **Résultats**

Initialement, la macroporosité des colonnes était de l'ordre de 3-4%. L'augmentation du volume macroporeux total peut être importante, en particulier pour les colonnes AI et AJ

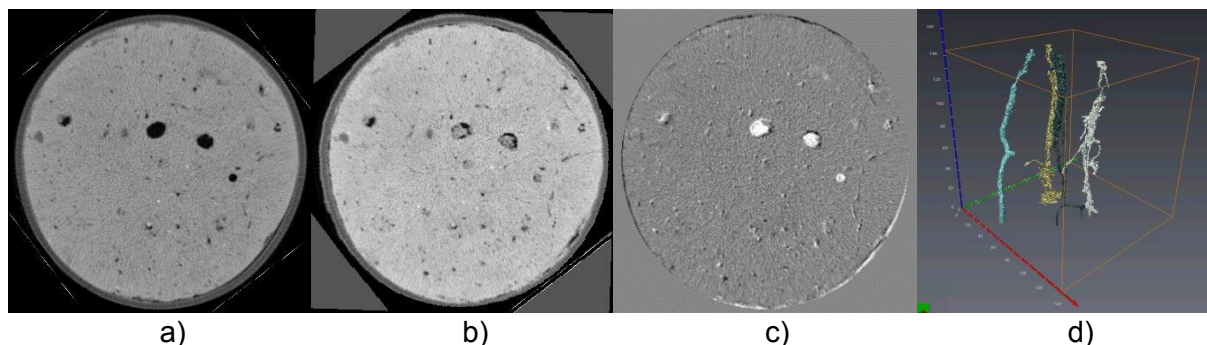


(6 mm/h) (Fig. 1a). Cette évolution est moins marquée et peut être différente si l'on ne prend pas en compte les macropores de bordures i.e. macropores en contact avec le porte-échantillon (tube PVC). Les profils de macroporosité montrent une évolution importante de macroporosité en haut de colonne et une évolution modérée sur le reste du profil (Fig. 1b).



**Fig. 1.** a) Evolution globale de la macroporosité (%) entre 0 et 30 pluies. b) Evolution du volume macroporeux en cm<sup>3</sup> sur la hauteur des échantillons AI et H.

Le recalage des images 3D permet de visualiser et de caractériser les mouvements de matière dans la macroporosité et de comparer leur localisation à la structure (Fig. 2).



**Fig. 2.** a) section avant la pluie colonne I. b) section après 30 pluies. c) localisation des mouvements de matière. d) Exemple de macropores percolants.

## Conclusion – discussion

Ces colonnes peuvent montrer un fonctionnement hydrodynamique erratique sous l'alternance de pluies et séchages contrôlés, avec des temps de percée et des quantités drainées très variables [1]. Pendant les cycles répétés, plusieurs processus influent effectivement sur la structure des colonnes, des effets apparaissent à l'interface avec le support de l'échantillon, une déstructuration de la surface supérieure de colonne apparaît également et des mouvements de matières dans la macroporosité peuvent être détectés. Ces modifications changent les propriétés morphologiques et topologiques des colonnes étudiées.

## Références

- [1] Cornu S et al. 2013. Experimental approach of lessivage: Quantification and mechanisms. Geoderma.
- [2] Sammartino S. et al. 2012. A novel method to visualize and characterize preferential flow in undisturbed soil cores by using multislice helical CT. Vadose Zone Journal.
- [3] Allaire-Leung S.E. et al. 2000. Water and solute movement in soil as influenced by macropore characteristics: 1. Macropore continuity. Journal of Contaminant Hydrology.

## **Evaluation des fonctions de pédotransfert d'un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée, sur un site pilote dédié**

**NASRI Behzad<sup>1 et 2</sup>, FOUCHÉ Olivier<sup>1 et 2</sup>, RAMIER David<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> : Université Paris-Est – Ecole des Ponts ParisTech – AgroParisTech, LEESU, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, 6 et 8, avenue Blaise Pascal - Cité Descartes, F 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2, [nasrib@leesu.enpc.fr](mailto:nasrib@leesu.enpc.fr)

<sup>2</sup> : Conservatoire national des Arts et Métiers, Dépt ICENER, 2 rue Conté, 75003 Paris, [olivier.fouche@cnam.fr](mailto:olivier.fouche@cnam.fr)

<sup>3</sup> : Cerema-IdF, 12 rue Teisserenc de Bort, 78197 Trappes cedex, [david.ramier@developpement-durable.gouv.fr](mailto:david.ramier@developpement-durable.gouv.fr)

### **Introduction et Objectifs**

Partout où les techniques d'assainissement collectif sont considérées comme non soutenables ou n'ont pas encore été mises en place, l'alternative se trouve dans les solutions par assainissement non collectif (ANC). L'ANC fait appel au sol pour ses fonctions épuration, rétention et évacuation. Le sol est aussi un compartiment essentiel vis-à-vis du cycle de l'eau. La prise en compte de la structure des sols et de leurs propriétés texturales et hydrauliques est indispensable à la compréhension et à la gestion des flux participant à la qualité des eaux souterraines et superficielles.

Cette étude est une partie essentielle du projet ANGRES (Assainissement Non Collectif – Rétention et Epuration par les sols). Son rôle dans le projet est d'assurer la compréhension physique et chimique du sol, milieu épurateur et récepteur des eaux usées traitées. Pour cela, on choisit de décrire sa structure et ses propriétés contrôlant ses trois fonctions en ANC, puis de se focaliser sur le transfert de l'eau dans le sol sur un site instrumenté dans ce but. On veut comprendre le processus de l'infiltration imposée par un dispositif d'ANC dans un sol hétérogène : description du régime hydrodynamique, identification des fonctions de pédotransfert et des paramètres de l'écoulement préférentiel résultant.

### **Méthodologie**

D'abord, suite au positionnement du site pilote d'ANC au pied d'un versant au cœur du plateau portlandien dans le département de l'Yonne en France, on a identifié là un type de sol hétérogène et complexe, caillouteux : une colluvion qui n'était pas cartographiée sur la carte géologique BRGM de cette région et sur laquelle on focalise l'étude. Ensuite, dans le sol complexe du site pilote, on a mesuré la conductivité hydraulique du sol par l'appareil Guelph, 15 essais sur 15 m<sup>2</sup> dans la fouille de l'ANC à une profondeur de 120 cm (Figure 1). De plus, on a récupéré 15 échantillons du sol accompagnant ces essais Guelph pour effectuer la caractérisation physique au laboratoire : on a mesuré la texture, la consistance, la teneur en matière organique et en carbonate dans la matrice des échantillons, ainsi que leur teneur en cailloux et leur humidité résiduelle. Puis, on a instrumenté ce site par un dispositif de suivi hydrique (tensiométrie, teneur en eau, piézométrie) et de prélèvement d'eau interstitielle du sol. Enfin, la masse volumique (densité) apparente de ce sol hétérogène a été déterminée in situ.

Parmi les paramètres mesurés, certains sont alors choisis comme indicateurs pour caractériser un sol comme milieu récepteur potentiel des eaux usées traitées en ANC, indicateurs que l'on a mesuré sur une série de sols variés du territoire d'étude. C'est déjà un produit qui valorise le projet.

Puis, à partir de la teneur en matière organique et de la texture, on estime la masse volumique apparente BD de la matrice du sol du site pilote au moyen de fonctions de pédotransfert (appelées BD-FPTs) de la littérature. On teste ensuite la relation entre la conductivité hydraulique à saturation Ks et la texture de ce sol complexe : une méthodologie en quatre phases est élaborée pour évaluer la capacité prédictive des fonctions Ks-FPTs et sélectionner les meilleures pour ce type de sol. Les résultats montrent que dans la colluvion, la conductivité hydraulique mesurée par les essais in situ est plus élevée qu'attendu d'après la matrice du sol et les Ks-FPTs. On démontre que la fraction des cailloux dans le sol joue un rôle essentiel en accélérant l'évacuation des eaux usées traitées et de l'eau pluviale vers les couches sous-jacentes, et finalement vers la nappe.

Enfin, avec les données instantanées de piézométrie, teneur en eau volumique et potentiel matriciel du sol, acquises par une centrale d'acquisition en suivi continu, le régime hydrodynamique du sol sous le massif filtrant de l'ANC a été étudié. On met en évidence un écoulement préférentiel qui confirme les résultats précédents issus des fonctions Ks-FPTs pour le transfert dans le sol caillouteux.

### Résultat

On conclut que cette expérimentation, unique en son genre, a été utile pour évaluer le régime hydrodynamique spécifique et la fonction de transfert et d'évacuation de l'eau dans le sol recevant les eaux usées traitées. On a identifié les paramètres prédictifs pertinents et les relations empiriques qui permettent de faire l'économie de nombreux et incertains essais d'eau (conductivité) et de sol (densité apparente) in situ, ainsi que d'essais pénibles en laboratoire (teneur en cailloux). L'ajout de graviers et graves calcaires par mélange au sol en place est donc une méthode efficace pour améliorer la capacité de transfert de l'eau des sols fins et lourds, non seulement en assainissement des eaux usées mais aussi dans les projets d'aménagement, notamment en gestion de l'eau de pluie.

**Mots clés :** Assainissement non collectif, sol, infiltration, fonction de pédotransfert, écoulement préférentiel.

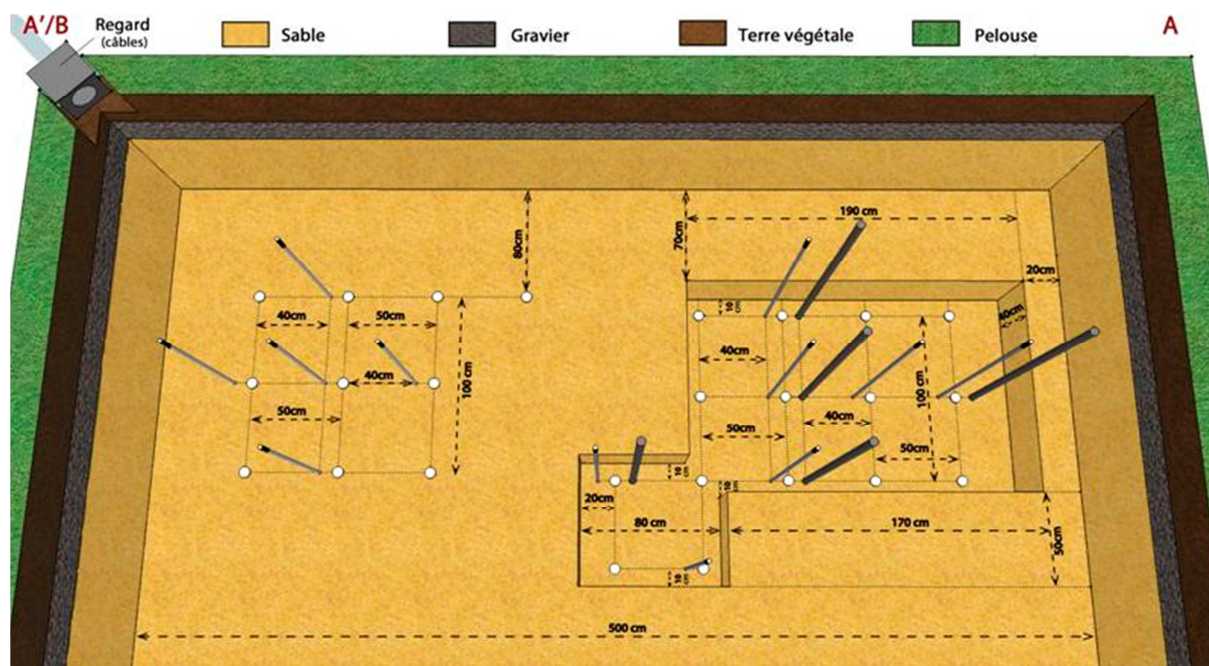


Figure 1. Plan d'installation des capteurs au fond de la fouille du futur massif filtrant

## Analyse comparative des événements érosifs majeurs dans un réseau de petits bassins méditerranéens

LE BISSONNAIS Yves<sup>1</sup>, LATRON Jérôme<sup>2</sup>, GALLART Francesc<sup>2</sup>, LICCIARDELLO Feliciano<sup>3</sup>, MATHIS Nicole<sup>4</sup>, MEKKI Insaf<sup>5</sup>, J.P. NUNES<sup>6</sup>, N. PEREZ GALLEGU<sup>2</sup>, D. RACLOT<sup>7</sup>, A. SOLE BENET<sup>8</sup>, C. LE BOUTEILLER<sup>4</sup>, P. ANDRIEUX<sup>1</sup>, H. JANTZI<sup>4</sup>, S. KLOTZ<sup>4</sup>, R. MOUSSA<sup>1</sup>, O. PLANCHON<sup>7</sup>, E. RODRIGUEZ CABALLERO<sup>9</sup>, and J.M. SANTOS<sup>6</sup>

*1 INRA-UMR LISAH (INRA-IRD-Supagro), Montpellier, France  
(lebisson@supagro.inra.fr)*

*2 CSIC, Surface Hydrology and Erosion Group, Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA), Barcelona, Spain*

*3 University of Catania, Department of Agro-food and Environmental System Management, Italy*

*4 IRSTEA. Unité de Recherche Erosion Torrentielle Neige et Avalanches (ETNA), Saint Martin d'Hères, France*

*5 INRGREF, Ariana, Tunisia*

*6 CESAM & Dept. Environment and Planning, University of Aveiro, Portugal*

*7 IRD-UMR LISAH (INRA-IRD-Supagro), Montpellier, France*

*8 CSIC, Dept. Desertificación y Geoecología, Estación Experimental de Zonas Áridas, Almería, Spain*

*9 Universidad de Almería, Dept. De Agronomía, Spain*

### Contexte, objectifs et méthodologie

L'érosion des sols est l'un des problèmes environnementaux les plus préoccupants dans les régions méditerranéennes en raison de ses impacts à la fois sur et hors site, telles que la perte de sol, l'envasement des réservoirs, la dégradation de la qualité de l'eau et les impacts écologiques.

De nombreuses études ont clairement souligné que les événements pluvieux exceptionnels, de faible fréquence pouvaient jouer un rôle prépondérant en ce qui concerne l'érosion des sols et que quelques événements extrêmes pouvaient représenter un pourcentage important de l'érosion totale. Cependant, les processus de ruissellement et d'érosion dépendent aussi largement d'autres facteurs que les précipitations, comme l'occupation des sols, la morphologie du paysage, les caractéristiques géologiques et l'on sait peu de choses sur la variabilité de la part relative de ces événements exceptionnels en fonction du contexte du bassin versant et de la variabilité des principaux facteurs qui peuvent influencer sur l'érosion.

Les principaux objectifs de ce travail étaient (1) de caractériser la variabilité de l'intensité de l'érosion et de la contribution relative des événements érosifs les plus importants, pour un ensemble de 10 petits bassins versants de recherche situés dans la région méditerranéenne et (2) d'améliorer notre compréhension des facteurs qui contrôlent ces variabilités.

Les différents bassins versants, regroupés dans le réseau R-OSMED, sont situés en France (4), Espagne (3), Italie (1), Portugal (1) et Tunisie (1); les bassins versants ont des superficies allant de 0,018 à 1,32 km<sup>2</sup>, des précipitations annuelles moyennes de 236 à 1303 mm an<sup>-1</sup>. Tous ces bassins disposent de suivis hydro-météorologiques et érosifs d'une durée comprise entre 4 et 29 ans. Au total, plus de 120 années de données hydrologiques et sédimentaires ont été analysées pour sélectionner les événements érosifs majeurs (fréquence de retour biennale) sur chaque bassin versant.

## Résultats et discussion

Les premiers résultats confirment une très forte variabilité des taux d'érosion spécifique annuelle moyenne entre bassins (30 à 8000  $\text{Mg km}^{-2} \text{an}^{-1}$ ) et montrent que les événements les plus érosifs, en terme de fréquence, représentent une proportion également très variable de l'érosion annuelle moyenne selon les bassins. La nature du substrat géologique, la taille des bassins versants et leur proportion de zone à fort risque d'érosion ont été identifiés comme les principales causes des différences entre les réponses des bassins versants. Pour les événements érosifs majeurs, le transport solide en suspension est assez bien corrélé au débit de pointe, mais aucune relation générale n'a pu être observée entre la concentration en suspension des sédiments (maximum et moyenne) et des variables de précipitation ou de ruissellement. La comparaison entre les réponses des différents bassins versants contribue à améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique et géomorphologique de chacun d'eux et pourrait être d'une grande utilité afin de mettre en place la démarche de lutte anti-érosive la plus efficace pour chaque bassin.

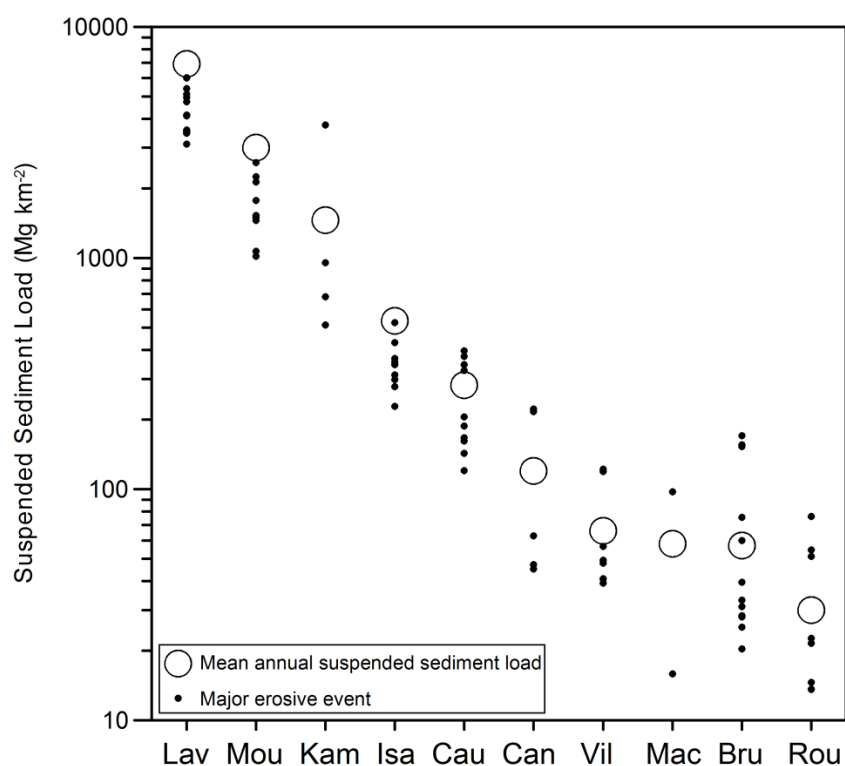


Figure 1 : Erosion spécifique annuelle moyenne et érosion spécifique des événements érosifs majeurs pour chacun des 10 bassins versants.



## **Cartographie de l'aléa érosif à l'échelle régionale : exemple sur le bassin de la Loire-Bretagne**

**DEGAN Francesca<sup>1</sup>, SALVADOR-BLANES Sébastien<sup>1</sup>, CERDAN Olivier<sup>2</sup>,  
BOURRAIN Xavier<sup>3</sup>, GAUTIER Jean-Noël<sup>3</sup>, COLMAR Anne<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: EA 6293 GéoHydrosystèmes Continentaux, Université François Rabelais, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37200 Tours. Francesca.degan@univ-tours.fr ; salvador@univ-tours.fr

<sup>2</sup>: Département Risques et Prévention, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans. o.cerdan@brgm.fr

<sup>3</sup>: Agence de l'Eau Loire-Bretagne, avenue Buffon, BP 6339, 45063 Orléans Cedex 2.

### **Érosion hydrique**

L'érosion hydrique des sols est un des processus majeurs affectant les sols agricoles. Les processus d'érosion hydrique des sols en zones agricoles sont de différents types. Les coulées boueuses et les glissements de terrain sont des événements catastrophiques, déclenchés lors de la concomitance de conditions particulières. D'autres processus érosifs sont plus courants, comme les ravines, les rigoles et l'érosion diffuse. Sur les versants cultivés, ces processus sont tenus responsables de la majeure partie de l'érosion. Les impacts sur l'environnement et les zones agricoles sont nombreux, comme la pollution des eaux, la baisse du rendement, la perte de la matière organique et l'augmentation de l'envasement.

### **Aléa érosif du bassin Loire-Bretagne**

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne a constaté dans depuis une dizaine d'années une augmentation du colmatage des cours d'eau pouvant résulter de l'érosion de sols agricoles. Les différents facteurs responsables de l'augmentation du taux d'érosion des sols depuis la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle sont : la monoculture, le control des adventices laissant le sol nu, l'agrandissement de la surface des parcelles cultivées et l'arrachage des haies.

L'analyse spatiale de l'aléa érosif constitue un outil pour identifier les zones du territoire les plus susceptibles d'être soumises à l'érosion hydrique. La modélisation spatiale et la cartographie sont des outils permettant de mettre en œuvre les pratiques de conservation des sols et de prévenir les impacts *in situ* et *ex situ* de l'érosion. La dernière cartographie de l'aléa érosif pour le bassin de la Loire-Bretagne date de 2009 (Cemagref et Onema, 2009). Cette analyse spatiale est néanmoins limitée par la résolution et la mise à jour des bases de données d'entrée, la prise en compte de la dynamique temporelle et la validation. L'objectif est ici d'affiner les résolutions spatiales et temporelles pour modéliser les phénomènes érosifs se déclenchant au niveau de la parcelle sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne (155 000 km<sup>2</sup>). L'extension régionale de la zone d'étude représente un défi par rapport à l'homogénéité des bases de données disponibles, la résolution spatiale des résultats et la prise en compte des différentes pratiques agricoles.

### **Amélioration du modèle MESALES**

Nous avons choisi d'améliorer le modèle MESALES (Le Bissonnais et al., 2001) pour cartographier l'aléa érosif. Ceci parce que ce modèle a été développé spécifiquement pour la modélisation de l'érosion hydrique des versants cultivés en climat tempéré. Sa robustesse et son adaptabilité permettent de l'utiliser pour représenter les différents contextes

agronomiques de la Loire-Bretagne. Nous avons amélioré le modèle MESALES selon trois axes : les données d'entrée, la combinaison des facteurs érosifs et la validation du modèle par expertise. En outre, nous avons représenté les résultats de la modélisation spatiale avec une méthode originale, pour répondre aux exigences d'opérabilité de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Les facteurs responsables de l'érosion hydrique des sols sont différents selon les échelles spatiales et temporelles considérées. Le modèle MESALES prend en compte quatre grands types de facteurs : les sols, l'occupation du sol, le climat et la topographie. Les bases de données utilisées pour le calcul des quatre types de facteur sont homogènes sur le territoire et ont une résolution spatiale comprise entre 50m et 8km. La plage temporelle s'étend de 1998 à 2010, l'échelle temporelle est la saison. Suivant les quatre types de facteurs, les bases de données utilisées sont : les sols (érodibilité, battance et ruissellement), le taux de couverture du sol par saison sur trois ans et pour 77 classes d'occupation du sol, la topographie (pente et aire drainée) et l'érosivité des pluies (intensité et cumul saisonnier).

- La **première** amélioration du modèle MESALES réside dans le calcul des facteurs érosifs à partir des nouvelles bases de données. Par exemple, les bases des données pédologiques existantes exercent une influence à deux niveaux, liés à la résolution spatiale de données et aux propriétés des sols référencées dans la base. Les analyses de sensibilité du modèle par rapport aux différents types de bases de données sols employées ont permis d'en appréhender l'effet pour la modélisation spatiale de l'érosion.
- Dans un **deuxième** temps, nous avons également adapté les combinaisons des facteurs érosifs pour mieux représenter les contextes agricoles de la Loire-Bretagne.
- **Troisièmement**, nous avons ensuite validé les résultats du modèle grâce à des enquêtes auprès des acteurs locaux. 28 réunions pour un total de 170 personnes interrogées ont fourni les éléments pour modifier le calcul des facteurs érosifs à partir des bases de données. Les résultats fournis à l'Agence de l'Eau sont issus de ces modifications. Cette approche innovante permet de prendre en compte les spécificités des territoires du bassin. En outre, la validation par expertise permet aux acteurs locaux de s'approprier la cartographie en tant qu'outil de travail.
- Les résultats de l'analyse spatiale sont publiés avec une résolution finale de 1km. La **quatrième** amélioration est l'intégration des résultats à l'échelle du bassin des masses d'eau avec une méthode originale. 2121 bassins sont hiérarchisés selon le pourcentage d'aléa érosif. Dans la cartographie annuelle, 347 bassins versants sont classés en aléa de fort à très fort, correspondant à 16 % du total de la surface.

Cette cartographie fait partie du dossier de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour l'établissement du nouveau SDAGE 2016 – 2021.

Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, JR., Souchon, Y., Wasson, JG. (2009) SYstème Relationnel d'Audit del'Hydromorphologie des Cours d'Eau – ATLAS A LARGE ECHELLE v2.0. Cemagref, ONEMA, 58pages

Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D. (2001) Mapping erosion risk for cultivated soil in France. CATENA, Volume 46, Issues 2-3, Pages 207-220

## Vers une meilleure prise en compte des caractéristiques physiques des particules dans les modèles d'érosion

GRANGEON Thomas<sup>1</sup>, WENDLING Valentin<sup>1</sup>, LEGOUT Cédric<sup>1</sup>, GRATIOT Nicolas<sup>1</sup>,  
DROPO Ian<sup>2</sup>, MANNING Andrew<sup>3</sup>, MICHALLET Hervé<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> : Univ. Grenoble Alpes, LTHE, F-38000 Grenoble, France.

<sup>2</sup> : Environment Canada, Burlington, Canada.

<sup>3</sup> : School of Marine Science & Engineering, University of Plymouth, Devon, PL4 8AA, United Kingdom.

<sup>4</sup> : Univ. Grenoble Alpes, LEGI, F-38000 Grenoble, France.

### **Contexte et objectifs : pourquoi s'intéresser aux caractéristiques physiques des particules ?**

Les enjeux sociétaux et économiques associés à la dynamique du transit des matières en suspension (MES) concernent à la fois la dégradation des ressources sol (fertilité) et eau (potabilité), la perte d'efficacité des ouvrages hydroélectriques (envasement) et l'altération de la qualité écologique des milieux (Owens et al. 2005). Les modèles distribués à base physique sont des outils attendus par les décideurs pour évaluer l'efficacité d'aménagements visant à limiter les altérations précitées ou l'évolution des flux de MES dans un contexte de changement global. Malheureusement, force est de constater que ces outils présentent un très faible pouvoir prédictif (Jetten et al. 1999). Une des raisons probable de cet échec provient d'une mauvaise prise en compte des caractéristiques physiques des particules, en particulier la taille qui, via son impact sur la vitesse de sédimentation, contrôle les distances/temps de transfert des MES (Wainwright et al., 2008).

En modélisation de l'érosion, la taille des particules (agrégats) et leur cohésion déterminent leur capacité à être détachés et mis en mouvement. Cependant, une fois que ces agrégats sont détachés de la matrice du sol, leurs tailles sont généralement considérées figées durant l'ensemble des processus de transport sur les versants et dans le réseau hydrographique. Dans les domaines estuariens ou de grandes rivières de plaine, il est en revanche largement admis que la structure et la dynamique des particules (flocs) sont contrôlées par les conditions hydrodynamiques et physico-chimiques rencontrées (cisaillement, concentrations en MES, salinité).

Ces deux conceptualisations conduisent à des stratégies de modélisation très différentes. Ce travail vise à croiser les connaissances acquises par la communauté « érosion des sols » et la communauté des « hydrologues » afin d'améliorer la compréhension de la dynamique des MES dans le continuum versant rivière. L'objectif est d'analyser dans quelle mesure les tailles agrégées des MES sont contrôlées par les propriétés des sols sources sur les versants et/ou par les conditions hydrodynamiques en rivière.



## Matériel et méthodes

Trois sols prélevés dans différents contextes hydrosédimentaires (SO Draix Bléone - bassin versant du Galabre et SO OHM-CV - bassin du Gazel) ont été exposés à des conditions hydrodynamiques contrôlées en laboratoire. Les deux matériaux de la Bléone ont été échantillonnés dans des zones de « badlands » l'une marneuse, l'autre molassique. Le sol du Gazel est argilo limoneux. Chaque sol a été séché à l'air et tamisé à 1 mm. Les expériences ont été réalisées en parallèle dans un canal annulaire de deux mètres de diamètre et dans une cuve rectangulaire équipée d'une grille oscillante. Le canal annulaire a permis de tester le comportement des sols pour des niveaux variables de cisaillement en reproduisant un hydrogramme de crue théorique par application de paliers successifs de cisaillement sur une durée totale d'environ dix heures. Dans la cuve rectangulaire, le niveau de turbulence est resté constant sur une quarantaine de minutes. Seuls les niveaux de concentration en MES ont été changés d'une expérience à une autre. Des prélèvements de MES ont été effectués régulièrement au cours des expérimentations et analysés ensuite par diffraction laser, vidéo et microscopie.

## Résultats et discussion : comment se comportent les agrégats de sol dans l'écoulement ?

Les deux séries d'expérimentations montrent que les agrégats subissent des cinétiques de désagrégation propres à chaque sol une fois immergés dans l'écoulement. Les expériences réalisées à différents niveaux de concentrations montrent une tendance à l'affinement des particules lorsque les concentrations augmentent. Ce résultat pointe un comportement opposé à celui généralement observé pour les floccs. Pour les expériences où les niveaux de cisaillement ont variés, la désagrégation est observée durant toute la phase de montée de crue. Cette désagrégation est maximum au pic de cisaillement et les différences de tailles très marquées entre sols persistent. Au cours de la décrue, les différences de caractéristiques morphométriques entre sols s'estompent et une tendance à la floculation des particules en suspension est observée (Grangeon et al., 2013). Sans être aussi réactifs que des floccs en milieu estuarien, les agrégats de sol présentent une dépendance significative à la turbulence et aux concentrations, justifiant la nécessité d'évaluer par la suite la pertinence d'une intégration de cette dépendance aux équations de transfert.

Grangeon T., Droppo I.G., Legout C., Esteves M. (2013). From soil aggregates to riverine floccs: a laboratory experiment assessing the respective effects of soil type and flow shear stress on particles characteristics. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9929.

Jetten V., De Roo A.P.J., Favis-Mortlock D. (1999). Evaluation of fieldscale and catchment-scale soil erosion models. *Catena* 37:521-541.

Owens P.N., Batalla R.J., Collins A.J., Gomez B., Hicks D.M., Horowitz A.J., Kondolf G.M., Marden M., Page M.J., Peacock D.H., Petticrew E.L., Salomons W., Trustrum N.A. (2005). Fine-grained sediment in riversystems: environmental significance and management issues. *River Res. Applic.* 21:693-717.

Wainwright J., Parsons A.J., Müller E.N., Brazier R.E., Powell D.M., Fenti B. (2008). A transport-distance approach to scaling erosion rates: I Background and model development. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33: 813-826.

## **La validité des Fonctions de Pédotransfert développées à partir des sols français : Application à des sols du bassin méditerranéen (Cas des sols de Syrie)**

**AL MAJOU Hassan<sup>1\*</sup>, BRUAND Ary<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> : Université de Damas, Département des Sciences du Sol, Faculté Agronomique, PO Box 30621, Damas, Syrie.

<sup>2</sup> : Université d'Orléans, CNRS, INSU, Université de Tours, - Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), 1A Rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2, France.

\* : Auteur correspondant : ([almajou@yahoo.fr](mailto:almajou@yahoo.fr))

### **Introduction**

En Syrie, l'eau joue un rôle essentiel qui peut être un des facteurs principaux limitant la production agricole, et explique, de ce fait, la faible potentialité agricole alors que la croissance démographique reste forte. La connaissance des propriétés hydriques du sol, en particulier de leurs propriétés de rétention en eau, est une donnée clé d'une gestion appropriée des sols. Les propriétés de rétention en eau ont fait l'objet d'un très grand nombre de travaux aux cours de ces dernières décennies. Cependant, ces propriétés ne sont généralement connues que pour nombre restreint de sols en raison de la lourdeur et le coût des mesures. Pour répondre à la nécessité de connaître les propriétés hydriques des sols, des outils de prédiction dénommés « fonctions de pédotransfert » ont été développés pour les estimer à partir de caractéristiques du sol plus aisément accessibles (composition granulométrique, densité apparente, teneur en carbone organique, ect.) lors d'inventaire des sols (Rawls *et al.*, 1982 ; Wösten *et al.*, 2001 ; Bruand *et al.*, 2003 et 2004 ; Al Majou *et al.*, 2007).

### **Objectif**

En dépit du climat semi-aride et aride en Syrie, l'étude des propriétés de rétention en eau n'a pas fait l'objet de travaux conséquents. Les causes en sont nombreuses, notamment la difficulté d'effectuer des mesures sur la totalité des sols. Ainsi, le recours à des méthodes prédictives apparaît le meilleur moyen d'obtenir des données nécessaires à une utilisation optimale et durable des deux ressources fondamentales de la biosphère qui sont l'eau et le sol. Cette étude a donc pour objectif la discussion de performance des fonctions de pédotransfert (FPT) établies à partir du territoire français, lorsqu'elles sont utilisées en dehors de régions dans lesquelles elles ont été développées (application à des sols de Syrie).

### **Matériel et méthodes**

Malgré le fait que le prélèvement des échantillons n'a pas été facile à effectuer, un lot de 30 échantillons de sols a été récolté durant les mois de décembre et janvier (2011-2012) dans plusieurs régions de Syrie dans le but de couvrir assez possible une gamme variée de sols représentatifs du territoire. Les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés de rétention en eau ont été déterminées en France. La validité des différentes FPT a été discutée pour des sols du territoire syrien en utilisant plusieurs types de critères statistiques.

### **Résultats et discussion**

Les résultats montrent que les fonctions de pédotransfert (FPT) utilisant la teneur en eau volumique à la capacité au champ avec et sans stratification en fonction de la texture, conduisent à des performances de prédiction (biais et précision) qui sont meilleures à celles enregistrées avec les FPT étudiées (classes de FPT ou FPT continues) (Figure 1. a, b, c, d, e et f).

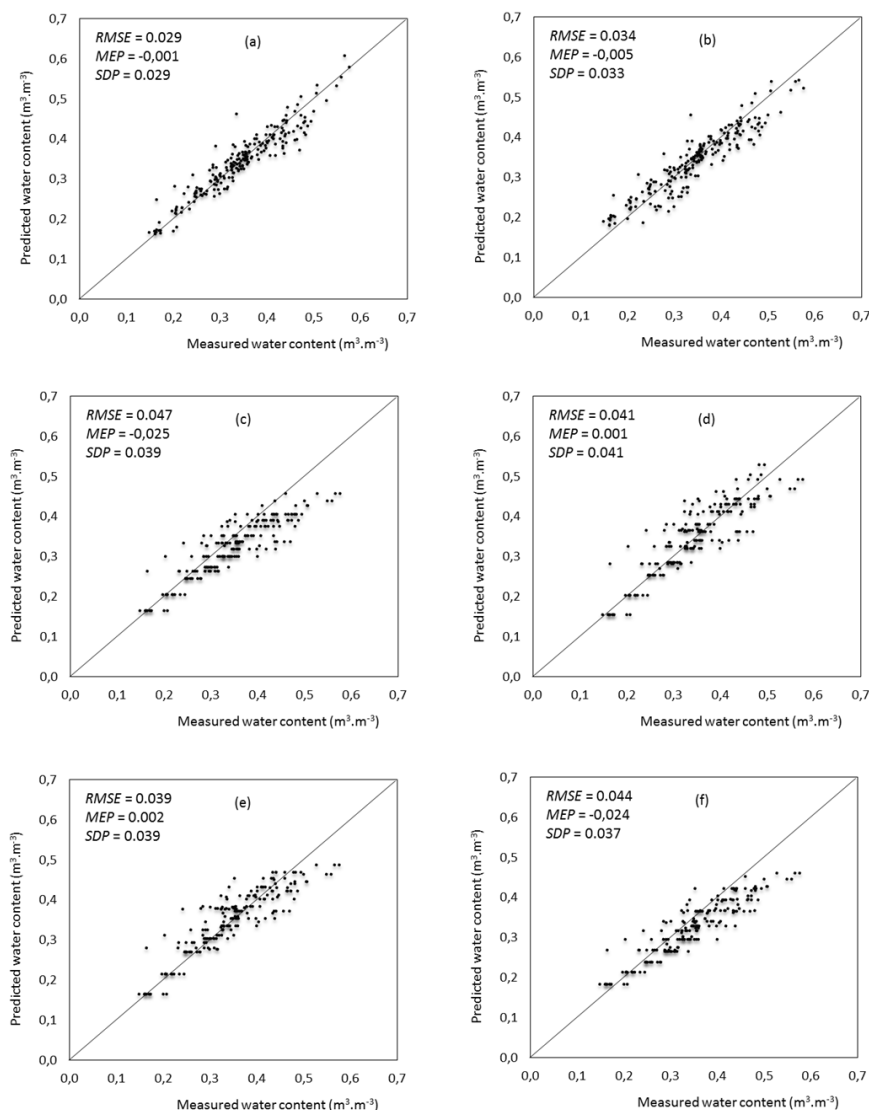


Figure.1: Comparaison de la validité des différentes FPT (a, b) et CPT (c, d, e, f)

## Conclusion

Les résultats montrent par conséquent que l'utilisation des FPT simples (la teneur en eau volumique à la capacité au champ) comme prédicteur a conduit à des prédictions de qualité supérieure à celles enregistrées avec des FPT plus sophistiquées et plus exigeantes. Les résultats montrent aussi que malgré l'importance de la ressemblance entre le jeu de sols utilisé pour établir les FPT et les sols auxquels on les applique, et en raison de manque de FPT établies pour les sols syriens, les FPT développées pour les territoires français ont conduit à des résultats raisonnables.

## Références

- Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O. and Cousin I. 2007. Variation of the water retention properties of soils: validity of class-pedotransfer functions. *C.R. Geoscience*, 339, 632–639.
- Bruand, A., Pérez Fernandez, P., Duval, O., 2003. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management*, 19, 232–242.
- Bruand, A., Duval, O., Cousin, I., 2004. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 323–334.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. and Saxton, K.E. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE*, 26, 1747–1752.
- Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of hydrology*, 251, 123–150.

## **Connexions biogéochimiques entre écosystèmes terrestres et écosystèmes aquatiques : quelques réflexions pour une approche plus intégrée entre sols et eaux**

**JM Dorioz (1) et C. Grimaldi (2)**

1. INRA CARRTEL Thonon les bains dorioz@thonon.inra.fr
2. INRA SAS Sol Agro et hydrosystème Spatialisation Rennes

Les connexions entre écosystèmes terrestres et aquatiques sont souvent fortes, elles existent notamment par l'intermédiaire de flux de diverses natures : eau, particules, nutriments, matières organiques, contaminants ... Une part des flux des écosystèmes terrestres est exportée par les écoulements et aboutit in fine dans les écosystèmes aquatiques dont ils contribuent à piloter le fonctionnement. Les flux de matière réciproques, de l'aquatique au terrestre, sont plus limités et s'exercent surtout dans les corridors fluviaux via des inondations ou des transporteurs biotiques. Le sol a un rôle essentiel dans la genèse et la régulation de ces flux du fait de sa contribution aux cycles, en tant que milieu de transfert clé de cette connexion et milieu interface avec les autres compartiments biosphère, atmosphère, lithosphère.

Les flux émis par les agro-systèmes représentent un cas spécifique de relation entre milieux terrestres et aquatiques. Ils affectent les écosystèmes aquatiques auxquels ils sont associés parfois au point de les dégrader. Ils y produisent des conditions d'exposition qui impactent la biodiversité, transforment les écosystèmes récepteurs et leurs valeurs d'usage. Etudier ces écosystèmes en tant que réceptacles des flux issus du milieu terrestre, comprendre comment les flux influencent les écosystèmes aquatiques et s'y transforment, est donc un prolongement naturel des travaux relatifs aux cycles et flux dans les sols, les agro-systèmes et les paysages, dans les bassins versants.

Malgré ces relations bien connues, les recherches en biogéochimie menées dans le milieu terrestre et dans le milieu aquatique, sont, encore aujourd'hui, relativement cloisonnées. Ceci s'explique par des différences, non pas dans la nature des processus élémentaires qui sont assez similaires dans les écosystèmes terrestres (en particulier dans les sols) et aquatiques (dans l'eau et les sédiments), mais plutôt dans les caractéristiques physiques et biotiques de ces deux grands types de milieux. De ce fait, les éco-dynamiques globales des éléments chimiques (C, N, P...) et donc les approches pour les étudier sont spécifiques, ce qui rend difficile l'intégration des cycles et des flux biogéochimiques à des échelles englobant les deux grands types d'écosystèmes. Les enjeux finalisés aussi diffèrent : en milieu terrestre il s'agit d'augmenter la productivité primaire et en milieu aquatique de la maîtriser, ce qui conduit à des apports de nutriments intentionnels d'un côté, non intentionnels de l'autre.

Sur la base de ces constats, nous présentons quelques réflexions sur (1) des approches existantes et qui proposent de relier fonctionnement ou/et état de bassins versants et de paysages au fonctionnement et /ou état des milieux aquatiques récepteurs (2) des difficultés que rencontrent ces recherches, avant de proposer (3) quelques pistes pour améliorer la prise en compte d'une approche intégrée des fonctionnements et des flux couplant les différents écosystèmes dans un paysage hétérogène (4) les conséquences en terme de types d'études à promouvoir en sciences du sol. Nous proposons en particulier de considérer les écosystèmes aquatiques dans la continuité de la partie terrestre de leurs bassins versants et de s'intéresser aux sols des espaces fonctionnels clés, particulièrement à ceux des frontières que les flux doivent franchir lors de leurs transferts.

## Prédiction et quantification des sources diffuses de nutriments particulières : application des méthodes de fingerprinting

**NEMERY Julien<sup>1</sup>, POULENARD Jérôme<sup>2</sup>, EVRARD Olivier<sup>3</sup>, GRATIOT Nicolas<sup>1</sup>  
AYRAULT Sophie<sup>3</sup>, DUVERT Clément<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> LTHE, UMR 5564 Université Grenoble Alpes/IRD/CNRS, 38000 Grenoble

<sup>2</sup> EDYTEM, Université de Savoie/CNRS Technolac 73376, Le Bourget du Lac Cedex, France

<sup>3</sup> LSCE/IPSL, UMR 8212 (CEA, CNRS, UVSQ), Gif-sur-Yvette 91198 Cedex, France

<sup>4</sup> EEBS, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia

Le présent travail vise à tester l'applicabilité d'une méthode de traçage des sédiments à la quantification du carbone (C), Azote (N) et phosphore (P) particulières d'origine diffuse. Les méthodes de traçage (aussi appelées fingerprinting) utilisent différents traceurs tels les radionucléides, la géochimie mais aussi les propriétés spectrométriques UV et IR des sols sources. Ces méthodes ont été appliquées récemment avec succès pour le traçage des sédiments sur différents bassins versants alpins (Evrard et al, 2011, Poulénard et al, 2012, Legout et al, 2013) mais aussi sur des bassins versants sub-tropicaux mexicains (Evrard et al, 2010, Evrard et al, 2013). Une comparaison des méthodes de traçage conventionnel (radionucléides, géochimie) et du traçage spectroscopique (DRIFT pour Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform) a permis de valider leurs pouvoirs prédictifs des sources dans les flux de matières en suspension (MES) aux exutoires des bassins mexicains (Evrard et al, 2013). La problématique de ce site mexicain situé sur les hauts plateaux volcaniques de l'État du Michoacán est double. L'érosion importante des sols volcaniques (Acrisols et Andosols) et les apports en éléments nutritifs (diffus et ponctuels) menacent de comblement et d'eutrophisation le barrage aval de Cointzio (66 Mm<sup>3</sup>, qui alimente en eau potable la principale ville de l'État ; Morélia : 700 000 habitants) (Figure 1). Pour 4 sous-bassins versants (de 3, 9, 12 et 630 km<sup>2</sup>) les pourcentages de sols source (Acrisols, Andosols, forêts, sols cultivés, ravines) ont pu être quantifiés par les précédentes études (tableau 1). Sur la base d'analyses complémentaires des contenus en C, N et P de ces sols source et des MES aux exutoires nous avons testé le pouvoir de prédiction du modèle de traçage DRIFT pour la quantification des nutriments particuliers d'origine diffuse. Nous appliquons ici les mêmes pourcentages aux teneurs en C, N, P des sols source identifiés pour la prédiction. Le pouvoir de prédiction est pertinent pour les événements de crue aux exutoires des 4 sous bassins mais évidemment inadapté pour les périodes d'étiage durant lesquelles les sources ponctuelles dominant (Figure 2). Le modèle prédictif a été appliqué pour quantifier la part diffuse des nutriments particuliers dans un bilan annuel. Ces résultats permettent de discuter des sources ponctuelles et diffuses de nutriments qui atteignent le réservoir de Cointzio.

Tableau 1 : Pourcentage des sols source dans les MES prélevées en crue dans 4 sous bassins versants de Cointzio déterminés à partir de la méthode DRIFT (d'après Evrard et al, 2013)

Sous bassin	Nombres d'échantillon de MES en crue testés	Sols source	% de contribution (incertitudes)
Huertitas	10	Ravines	85(10)
		Terres cultivées	12(10)
La Cortina	7	Terres cultivées	78(4)
		Forêts	21(12)
Potrerillos	10	Ravines	83(11)
		Rangelands	22(15)
Undaméo	15	Acrisols	88(8)
		Andosols	13(8)

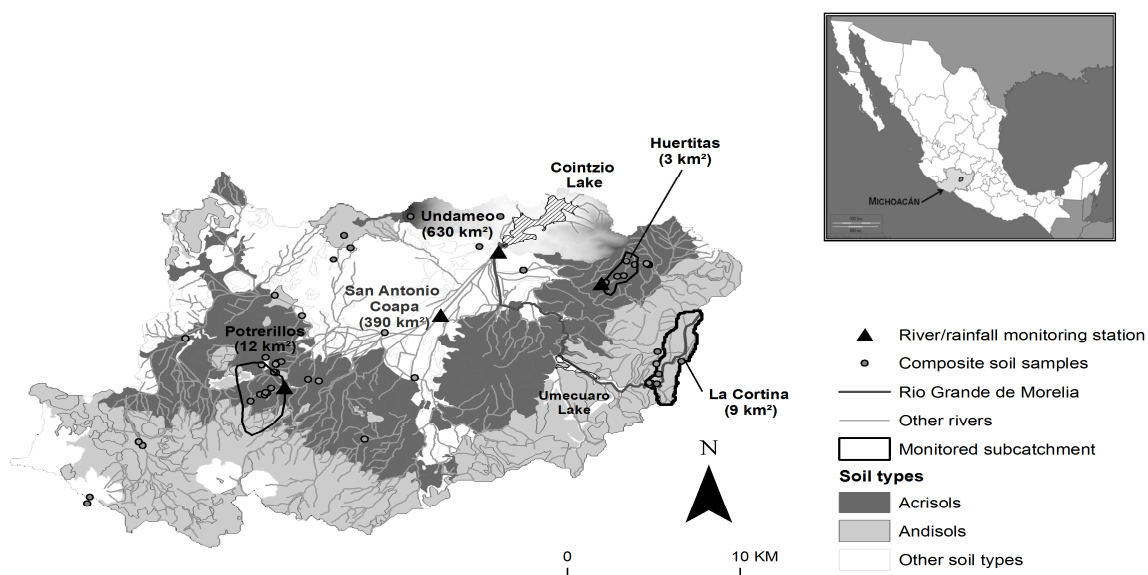


Figure 1 : Carte du bassin versant de Cointzio (Mexique)

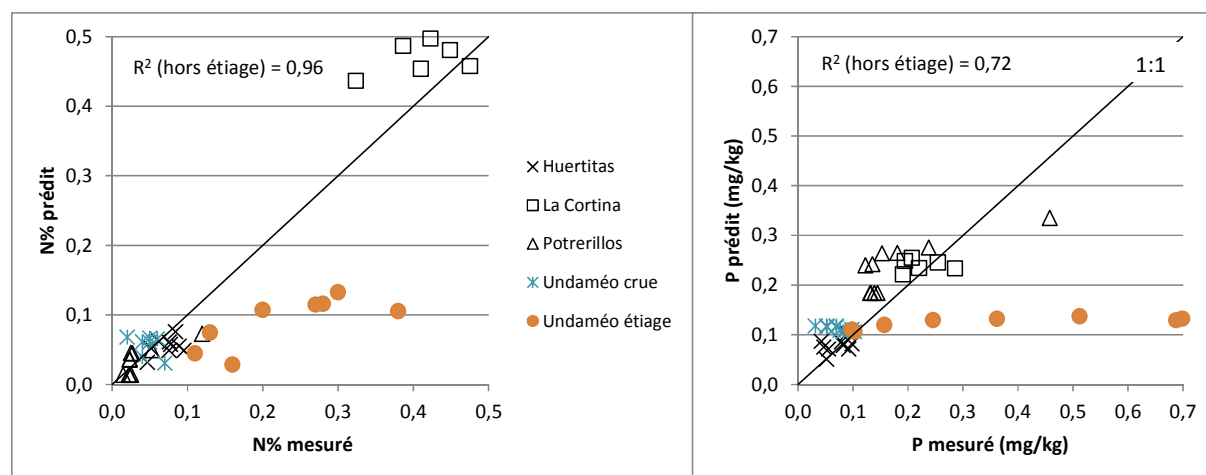


Figure 2 : Contenus en N et P mesurés et prédits par le modèle DRIFT dans les MES aux exutoires des 4 sous bassins versants

#### Références

- Evrard O, Poulenard J, Némery J, Ayrault S, Gratiot N, Duvert C, Prat C, Lefèvre I, Bonté P & Esteves M (2013) Tracing sediment sources in a tropical highland catchment of central Mexico by using conventional and alternative fingerprinting methods. *Hydrological Processes* 27:911-922
- Legout C, Poulenard J, Némery J, Navratil O, Grangeon T, Evrard O & Esteves M (2013) Quantifying suspended sediment sources during floods in headwater catchments by spectrocrometry. *Journal of soils and sediments* 13:1478-1492
- Poulenard J, Legout C, Némery J, Bramorski J, Navratil O, Douchin A, Fanget B, Perrette Y, Evrard O & Esteves M (2012) Tracing sediment sources during floods using Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectrometry (DRIFTS): A case study in a highly erosive mountainous catchment (Southern French Alps). *Journal of Hydrology* 414-415: 452-462
- Evrard O, Navratil O, Ayrault S, Ahmadi M, Némery J, Legout C, Lefèvre I, Poirel A, Bonté P & Esteves M (2011) Combining suspended sediment monitoring, elemental geochemistry and radionuclides to trace the spatial origin of fine sediment in a mountainous river catchment. *Earth Surfaces Processes and Landforms* 36: 1072-1089
- Evrard O, Némery J, Gratiot N, Duvert C, Ayrault S, Lefèvre I, Poulenard J, Prat C, Bonté P & Esteves M (2010) Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides. *Geomorphology* 124: 42-54

## **Etude de la contamination aux antibiotiques dans le Bassin du Katari et évaluation des impacts dans le contexte de l'Altiplano Bolivien**

**ARCHUNDIA Denisse<sup>1</sup>, DUWIG Céline<sup>1</sup>, LEHEMBRE Frédéric<sup>1</sup>, SPADINI Lorenzo<sup>1</sup>, MOREL Marie-Christine<sup>1,2</sup>, CHINCHEROS PANIAGUA Jaime<sup>3</sup>, MARTINS Jean M.F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : LTHE, UMR 5564 UJF/CNRS/INPG/IRD, University of Grenoble 1, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France, [denisse.archundia@ujf-grenoble.fr](mailto:denisse.archundia@ujf-grenoble.fr), [celine.duwig@ird.fr](mailto:celine.duwig@ird.fr), [frederic.lehembre@ujf-grenoble.fr](mailto:frederic.lehembre@ujf-grenoble.fr), [lorenzo.spadini@ujf-grenoble.fr](mailto:lorenzo.spadini@ujf-grenoble.fr), [jean.martins@ujf-grenoble.fr](mailto:jean.martins@ujf-grenoble.fr)

<sup>2</sup> : CNAM, Laboratoire d'Analyse Chimique et Bioanalyse, Ecole SITI, 292 rue Saint Martin, 75141 Paris cedex 03, France, [marie-christine.morel@ujf-grenoble.fr](mailto:marie-christine.morel@ujf-grenoble.fr)

<sup>3</sup> : UMSA, Laboratorio de Calidad Ambiental, Campus Cotata, La Paz, Bolivia [lca\\_ie@yahoo.com](mailto:lca_ie@yahoo.com)

### **Contexte**

Dans les Andes, le lac Titicaca est un site emblématique d'importance culturelle et écologique. Depuis plusieurs millénaires, les pourtours du lac Titicaca font l'objet d'une intense extraction minière et actuellement, l'équilibre écologique de cet écosystème fragile de haute altitude se voit perturbé par les rejets d'eaux usées provenant de zones urbaines en accroissement rapide et par les activités d'exploitations agricoles de plus en plus intensives. De plus, la contamination croissante du lac Titicaca fait que ce site n'a pas pu être classée comme patrimoine mondial de l'UNESCO depuis la demande bolivienne en 2003. Le bassin versant du Katari (2022 km<sup>2</sup>) a son exutoire dans la baie de Cohana situé dans le petit lac du Titicaca (Huiñamarca lake) en Bolivie, laquelle présente les eaux parmi les plus eutrophes du lac (Fonturbel, 2005). Le bassin versant draine la ville d'El Alto/La Paz, la ville la plus importante de l'Altiplano avec un taux de croissance de population de 5.2% par an, dont la plupart des eaux usées sont rejetées sans traitement dans l'environnement. L'Altiplano Nord présente des caractéristiques physico-chimiques uniques comme la haute altitude à 3800 m, des radiations UV importantes, des eaux peu oxygénées et un climat semi-aride, avec des précipitations intenses et très variables selon les saisons, qui vont influencer les processus de transfert, sorption et dégradation des antibiotiques. Le rejet des antibiotiques dans l'environnement pose non seulement des problèmes au niveau toxicologique car ce sont des contaminants pour les écosystèmes et les êtres vivants, mais ils impactent aussi les populations bactériennes ce qui peut conduire aux développements de résistances. L'usage des antibiotiques pour la médecine humaine et animale en Bolivie est peu ou pas contrôlé et généralement inapproprié.

### **Objectifs et méthodologie**

Les objectifs de l'étude sont de quantifier la pollution aux antibiotiques dans le bassin du Katari et d'identifier leur devenir et leur impact dans les conditions environnementales de l'Altiplano Bolivien.

La première étape a été de caractériser le bassin versant en termes hydrologique et pédologique. Un screening des principaux contaminants, notamment les éléments traces métalliques et les antibiotiques, a ensuite été effectué en saisons sèche et humide en des points stratégiques du réseau hydrographique du bassin versant du Katari (BVK). Les gènes de résistance au principal antibiotique détecté dans les eaux du bassin ont été recherchés dans les sols et les eaux.

## Résultats

Les résultats ont montré la présence de concentrations élevées de Sulfaméthoxazole (SMX) et Triméthoprime (TMP), antibiotiques utilisés très largement pour le traitement de maladies chez les humains et les animaux, le plus souvent en association. Un autre antibiotique analysé en concentration plus faible est le Sulfathiazol qui appartient à la famille des sulfonamides comme le sulfaméthoxazole. Les concentrations de SMX en aval des principales villes du bassin versant du Katari (El Alto et Viacha comptent environ 1.5 million d'habitants) sont beaucoup plus élevées (8832 et 14624 ng L<sup>-1</sup> respectivement) que les concentrations mesurées dans la Seine à Paris (Paris 3,6 à 18 ng L<sup>-1</sup>) (Tuc Dinh et al., 2011) et que celles dans le Mekong au Vietnam (Shimizu et al., 2013) où la concentration moyenne de SMX dans les eaux usées est de 1720 ng L<sup>-1</sup>. A ce jour, aucune étude toxicologique n'a pu montrer d'effets sur la santé humaine de tels niveaux de concentration. En revanche, il est connu que l'impact principal de ce type de contamination est la modification de la diversité des populations bactériennes indigènes des sols et des eaux et le possible développement de résistances bactériennes, largement reconnu comme un des principaux problèmes de santé publique du 21<sup>ème</sup> siècle.

Les gènes de résistances aux antibiotiques recherchés sont les gènes codant pour la résistance au SMX : *sul1*, *sul2*, et *sul3*.

Ces gènes de résistance au SMX ont été détectés dans presque toutes les eaux superficielles échantillonnées dans le bassin, même dans des sites où le SMX n'a pas été détecté.

En revanche, pour les sols échantillonnés, ces gènes de résistance (à l'exception de *sul3*, non détecté) n'ont été détectés que dans le sol exposé aux eaux usées en amont de la station de traitement des eaux. Les eaux usées représentent une source d'antibiotiques qui peuvent être à l'origine du développement de résistances chez les populations bactériennes indigènes du sol. Il est possible aussi que les eaux usées apportent directement des bactéries déjà porteuses de résistances transmissibles aux bactéries indigènes par transferts horizontaux.

## Conclusions et perspectives

Les eaux du réseau hydrographique sont contaminées par de multiples éléments selon les activités anthropiques (minière, urbaine et agricole). Le rejet des eaux usées brutes dans le réseau hydrographique explique la présence d'antibiotiques de la famille des sulfonamides en aval des villes. Des résistances bactériennes au SMX ont été détectées dans tout le réseau hydrographique, dues soit à une adaptation à la présence de concentrations importantes de SMX, soit à la dissémination de ces gènes de résistance par les eaux usées. La prochaine étape de ce travail est de comprendre le devenir du SMX à l'échelle du bassin versant dans les conditions environnementales de l'Altiplano, en identifiant les principaux processus affectant son devenir, c.à.d. la mobilité, la rétention et la dégradation.

## Références

- Fontúrbel R.F., 2005. Physico-chemical and biological indicators of the eutrophication process at Titicaca Lake (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1,2), 2005.
- Shimizu, A., Takada, H., Koike, T., Takeshita, A., Saha, M., Rinawati, Nakada, N., Murata, A., Suzuki, T., Suzuki, S., Chiem, N.H., Tuyen, B.C., Viet, P.H., Siringan, M.A., Kwan, C., Zakaria, M.P., Reungsang, A., 2013. Ubiquitous occurrence of sulfonamides in tropical Asian waters. *Sci. Total Environ.* 452-453, 108–115.
- Tuc Dinh, Q., Alliot, F., Moreau-Guigon, E., Eurin, J., Chevreuil, M., Labadie, P., 2011. Measurement of trace levels of antibiotics in river water using on-line enrichment and triple-quadrupole LC-MS/MS. *Talanta* 85, 1238–1245.



## **Influence de la structure du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion dans les vignobles champenois**

**MORVAN Xavier<sup>1</sup>, NAISSE Christophe<sup>2</sup>, MALAM ISSA Oumarou<sup>1</sup>, DESPRATS Jean-François<sup>3</sup>, COMBAUD Anne<sup>4</sup>, CERDAN Olivier<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> : Université de Reims Champagne-Ardenne, GEGENAA- EA 3795, 51100 Reims, xavier.morvan@univ-reims.fr

<sup>2</sup> : Bioemco, CNRS, UPMC (UMR 7618 CNRS-UPMC-ENS-UPEC-IRD-AgroParisTech), Thiverval-Grignon

<sup>3</sup> : BRGM, ARN, 3, avenue Claude-Guillemin, 45066 Orléans

<sup>4</sup> : PICAR-T, Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, 60026 Beauvais cedex

### **Introduction**

L'évaluation des risques d'érosion des sols à l'échelle de la France indique que les régions viticoles sont particulièrement sensibles (Le Bissonnais et Andrieux, 2007). L'utilisation d'une couverture de sol permet de lutter efficacement contre le ruissellement et l'érosion des sols. Parmi celles-ci, la présence d'un mulch, qui correspond à un dépôt sur le sol d'écorces d'arbre et de résidus de tiges provenant de la taille de la vigne, permet d'agir efficacement contre le ruissellement car il constitue un obstacle physique pour les écoulements superficiels (Baldy et Stigter, 1993). L'enherbement des vignes est une autre forme de couverture de sol. Il permet d'offrir une couverture physique qui amortit la chute des gouttes d'eau de pluie et limite donc la formation de croûte de battance, de favoriser l'infiltration de l'eau et de mieux structurer le sol grâce à la formation du système racinaire de l'herbe. L'enherbement permet donc de diminuer significativement le phénomène d'érosion par rapport à une vigne cultivée sans couverture de sol dans les inter-rangs (SWAPP-CPP project, 2007). Toutefois, aucune étude n'a été publiée à notre connaissance sur l'influence de la structure de l'enherbement dans l'inter-rang au niveau des traces de roues sur le ruissellement et l'érosion des sols.

L'objectif de cette étude a donc été de quantifier l'influence des pratiques culturales dans les inter-rangs de vignes et de déterminer l'influence de la structure de l'enherbement sur le ruissellement superficiel et l'érosion des sols. Pour cela, des comparaisons de mesures physiques et de résultats de simulations de pluie ont été réalisées sur les 3 principales pratiques culturales des vignobles de Champagne.

### **Matériel et méthodes**

Les expérimentations ont été conduites dans 3 parcelles viticoles du versant nord de la montagne de Reims. Selon le référentiel pédologique de 2008, les sols en présence sont des calcosols. La pente est comprise entre 5 et 7%, les rangs de vigne sont espacés d'1 m et plantés parallèlement à la pente. Les 3 pratiques culturales étudiées sont le sol nu (SN), la couverture d'écorce et de résidus de taille de vigne (ER) et l'enherbement (EH).

Sur les 3 parcelles viticoles étudiées, 12 simulations de pluie avec différentes intensités ont été conduites en novembre 2008 et avril 2009 sur des placettes expérimentales de 0.25 m<sup>2</sup> (tableau 1). En raison de la compaction des sols, l'enherbement au niveau des passages de roues n'était pas homogène sur toute la parcelle enherbée. Différents types de structures d'enherbement ont donc été sélectionnés : les placettes EH1, EH2, EH4, EH7 et EH8 ont une forte densité d'enherbement tandis que, dans les placettes EH3, EH5 et EH6, une bande désherbée ou très peu enherbée est présente au centre de l'inter-rang au niveau du passage de roue.

Des mesures de densité apparente et de pénétrométrie ont été réalisées dans les rangs et inter-rangs de vigne afin d'évaluer la compacité des inter-rangs.

### Résultats

Les mesures de densité apparente et pénétrométrie ont permis de mettre en évidence une zone de plus forte compaction au niveau des passages de roue dans l'inter-rang des vignes. Cette zone compactée encourage la genèse du ruissellement et justifie le choix de plusieurs densités d'enherbement dans l'inter-rang des vignes enherbées.

Le tableau 1 synthétise les résultats obtenus au cours des simulations de pluie. Les coefficients de ruissellement (CR) varient de 0,4 à 80,0%, la plus haute valeur étant obtenu sur le sol nu. Les résultats sont homogènes sur le mulch d'écorce et de résidus de taille de vigne. En revanche, ils le sont moins pour l'enherbement : les CR varient de 0,4 à 77,0%, et les pertes en terre sont comprises entre une valeur non mesurable et 13,4 g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Etant donné que le type de sol, la teneur en eau initiale, la pente, et les pratiques culturales sont similaires, ces paramètres ne peuvent expliquer cette variabilité. La structure de l'enherbement, en revanche, permet d'expliquer une partie de cette variabilité. L'absence ou la faible densité d'enherbement dans les inter-rangs compactés ont conduit aux plus forts CR et aux plus fortes pertes en terre. En effet, ces zones peu enherbées permettent la genèse du ruissellement et donc des pertes en terre plus importantes que dans les placettes avec un enherbement uniformément dense.

Table 1 : Résultats des simulations de pluie

Simulation	Année	Leaf area index (%)	Intensité de pluie (mm.h <sup>-1</sup> )	Coefficient de ruissellement (%)	Perte en sol (g.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )
SN	2008	-	26	80,0	7,4
ER1	2008	-	25	4,0	<1
ER2	2008	-	50	3,9	<1
ER3	2008	-	53	1,3	<1
EH1	2008	75	20	5,2	<1
EH2	2009	91	30	0,8	<1
EH3	2009	90	32	17,0	3,5
EH4	2009	85	40	0,4	<1
EH5	2009	89	41	48,0	4,3
EH6	2009	86	48	77,0	13,4
EH7	2008	82	55	1,1	<1
EH8	2008	91	76	1,0	<1

### Conclusion

Cette étude a permis de quantifier l'influence des différentes pratiques agricoles dans les vignes, mais surtout elle a mis en évidence le fait que l'enherbement n'est pas suffisant pour réduire le ruissellement et les pertes en sol associées. Pour être efficace, l'enherbement dans les inter-rangs de vignes doit être suffisamment dense au niveau des passages de roue, pour ne pas que les coefficients de ruissellement soient proches de ceux obtenus sur les vignes avec un sol nu.

### Bibliographie

- Baldy, C. & Stigter, C. J. 1993. Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes, Ed CTA –INRA, 246p.
- Le Bissonnais, Y. & Andrieux, P. 2007. Impact des modes d'entretien de la vigne sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols ; mécanismes et résultats expérimentaux. Compte rendu des conférences de Mondavi Décembre 2006; Progrès Agricole et Viticole, 124 (10), 191-196
- SWAPP-CPP, 2007. Handbook of LIFE SWAPP CPP project methods. SWAPP-CPP: Surface water protection against diffuse crop protection products release. Project LIFE 04/ENV/FR/000350.

## **Effet long-terme de l'utilisation des pesticides sur l'érosion d'un bassin versant viticole et la remobilisation de polluants**

**SABATIER Pierre<sup>1</sup>, POULENARD Jérôme<sup>1</sup>, FANGET Bernard<sup>1</sup>, REYSS Jean-Louis<sup>2</sup>, DEVELLE Anne-lise<sup>1</sup>, PLOYON Estelle<sup>1</sup>, WILHELM Bruno<sup>1,3</sup>, NAFFRECHOUX Emmanuel<sup>4</sup>, DORIOZ Jean-Marcel<sup>5</sup>, MONTUELLE Bernard<sup>5</sup>, ARNAUD Fabien<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : EDYTEM, Université de Savoie, CNRS, 73373 Le Bourget du Lac, France.  
(pierre.sabatier@univ-savoie.fr)

<sup>2</sup> : LSCE, Université de Versailles Saint-Quentin CEA-CNRS, avenue de la terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette cedex, France.

<sup>3</sup> : Institute of Geological Sciences, University of Bern, Baltzerstrasse, 3012 Bern, Switzerland

<sup>4</sup> : LCME, Université de Savoie, 73376 Le Bourget du Lac.

<sup>5</sup> : CARTELL, Université de Savoie, INRA, Thonon-les-Bains, France.

L'augmentation mondiale de l'utilisation des pesticides en agriculture au cours du dernier siècle et les conséquences à long terme sur l'environnement et les écosystèmes sont peu étudiées. Dans cette étude nous présentons une approche de rétro-observation basée sur des archives sédimentaires lacustres pour monitorer les micropolluants et évaluer les effets à long terme des traitements par les pesticides d'un bassin viticole en Savoie. Pour cela nous combinons des analyses sédimentologiques et géochimiques associées à une chronologie basée sur les radioéléments de courtes périodes (<sup>210</sup>Pb/<sup>137</sup>Cs) afin de reconstituer l'histoire récentes des pratiques viticoles au cours du dernier siècle.

Cette approche nous permet de reconstituer la succession des fongicides, insecticides et herbicides en relation avec l'apparition et l'interdiction des substances. La première utilisation de fongicides commence à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle avec la Bouillit Bordelaise. Après la seconde guerre mondiale, nous observons une intensification des traitements antifongiques contre l'oïdium, le mildiou et les pourritures noire (black rot) et grise (*Botrytis fungii*) avec une succession spécifique de molécules. L'utilisation d'insecticide dans le traitement de la vigne pour contrôler les mites Eriophyides et Tétranyques est observée depuis les années 40 avec une forte augmentation dans les années 70. Le Dicofol, le Bromopropylate et la Bifenthrine succèdent au DDT qui fût interdit en 1972. Cependant une seconde source de DDT apparait dans les années 90. La première utilisation d'herbicide est observée entre 1960 et 1970 avec la présence de métabolite de l'Atrazine utilisée comme herbicide type pré-levée, puis à partir de 1990 nous retrouvons de forte valeur d'AMPA (métabolite du Glyphosate, Roundup®) employée comme herbicide de type post-émergence.

L'étude de cette séquence nous permet de mettre en évidence deux augmentations de l'érosion du bassin versant au début des années 70 et 90 qui peuvent être directement reliées aux pratiques viticoles. Au début des années 70 l'utilisation de matériel agricole lourd et les premières applications d'herbicides de type pré-levée induisent une augmentation de l'érosion des sols. Puis dans le début des années 90, on observe une nouvelle augmentation de l'érosion synchrone des flux herbicides de type post-émergence (Roundup®) ainsi que la ré-émergence de pesticides interdit avec une nouvelle source de DDT et de son métabolite aérobique (DDE) probablement stocké dans les sol viticoles et remobilisé par cette érosion. Au cours des dernières années on observe une diminution de la concentration des pesticides probablement lié aux politiques française et européenne contre les substances polluantes dans l'agriculture. Cette étude démontre ainsi 1) la capacité des sédiments lacustres pour reconstituer la succession des pratiques viticoles récentes et 2) l'importance de prendre en compte les effets à long terme des pesticides sur l'érosion des sols et la remobilisation de polluants.

## Ruissellement et érosion dans un petit bassin marneux agricole de Tunisie

RACLOT Damien<sup>1</sup>, INOUBLI Nesrine<sup>1,2</sup>, HABAIEB Hamadi<sup>2</sup>, MEKKI Insaf<sup>3</sup>, LE BISSONNAIS Yves<sup>4</sup>

1 : IRD - UMR LISAH, Montpellier, France ([damien.raclot@ird.fr](mailto:damien.raclot@ird.fr))

2 : INAT, Tunis, Tunisie ([nesrine\\_inoubli@hotmail.fr](mailto:nesrine_inoubli@hotmail.fr))

3 : INRGREF, Tunis, Tunisie

4 : INRA - UMR LISAH, Montpellier, France

### Contexte et objectif

L'érosion hydrique constitue un processus de dégradation des sols très répandu en contexte méditerranéen du fait d'une combinaison de facteurs souvent défavorables : sol pauvre en matière organique, relief souvent marqué, pluies orageuses agressives, etc. Si les facteurs déterminants de l'érosion hydrique sont aujourd'hui bien identifiés, la hiérarchie des processus d'érosion en fonction des échelles d'espace et de temps est encore très mal connue. En zone méditerranéenne, la présence de nombreuses ravines permanentes pose notamment la question du poids relatif de l'érosion ravinaire, par rapport au poids de l'érosion diffuse affectant la surface des parcelles cultivées, dans les flux totaux de sédiments. L'objectif de cette étude est de hiérarchiser, en fonction du temps et de l'espace, les processus et facteurs déterminants du ruissellement et de l'érosion au sein d'un petit bassin versant marneux agricole tunisien.

### Matériel et méthode

Cette étude repose sur l'exploitation de 7 années de mesures (2005-2012) des flux d'eau et de Matières En Suspension (MES) au sein du bassin versant de Kamech (ORE OMERE, 263 ha, Cap Bon, Tunis). Kamech est un bassin fortement rural, cultivé à 70 % avec des céréales et des légumineuses, le reste étant constitué d'affleurement rocheux, de zones de parcours et de quelques habitations. Ce bassin est situé à la limite entre le sub-humide et le semi aride avec une pluviométrie annuel de l'ordre de 650 mm et une évapotranspiration de référence de l'ordre de 1200 mm/an. Les sols sont globalement très argileux avec une présence d'argiles de type smectites et montmorillonites, ce qui leurs confèrent un caractère vertique marqué. Dans cette étude, trois stations hydrologiques sont considérées (Figure 1) : l'exutoire d'une parcelle P1 (P1 = 1,32 ha) ; l'exutoire d'une ravine G de 0,7 ha alimentée par une parcelle P2 de 1,30 ha similaire à P1 (P2 + G = 1,37 ha) ; et l'exutoire du versant C (C = 15,2 ha) incluant P1 et P2+G. L'examen des dynamiques temporelles des flux, ainsi que des différences de comportements entre stations, a permis de : i) dégager les principaux facteurs déterminants de ces flux, ii) et de fournir une évaluation de la contribution des ravines aux flux totaux de sédiments. Cette évaluation se base sur des suivis fins entre 2002 et 2009 de l'évolution interne de la ravine G, représentative des ravines présentes sur Kamech (El Khalili et al., 2013) permettant d'estimer le taux d'érosion ravinaire à 6,1 mm/an dans ce type de milieu .

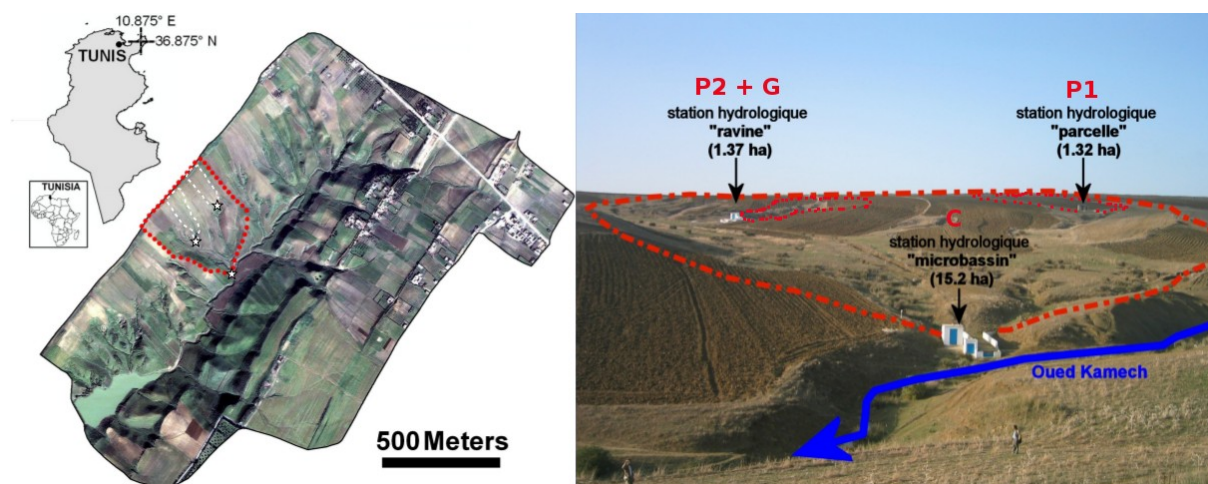


Figure 1 : Localisation du site d'étude et des stations hydrologiques de mesures des flux de ruissellement et d'érosion (Kamech, Cap Bon, ORE OMERE)

### Résultats et conclusions

Entre le 01/09/2005 et le 31/08/2012, 418 événements de pluies ont été recensés, dont 167 ont générés du ruissellement sur au moins une des stations suivies.

Du fait de chroniques de pluie très variables d'une année à l'autre, les dynamiques de ruissellement et d'érosion fluctuent également fortement d'une année à l'autre. Malgré cette variabilité inter-annuelle, un schéma général de fonctionnement se dégage clairement. Ainsi la période hivernale (décembre à mars) est clairement identifiée comme la période la plus active en termes de flux d'érosion. Avant, les fentes de retrait jouent un rôle d'atténuation majeur du ruissellement alors qu'après, la présence de la végétation diminue fortement les concentrations en MES.

Les suivis montrent une très légère augmentation du ruissellement moyen annuel, avec 95 mm/an pour P1, 105 mm/an pour P2+G et 120 mm/an pour C qui pourraient s'expliquer par l'apparition de petites surfaces moins infiltrantes lorsque l'on passe de P1 aux autres stations : flancs de ravines, pistes, petites zones aval pouvant se saturer ponctuellement en fin de saison hivernale. Les taux d'érosion moyens montrent des différences importantes avec 17 t/ha/an pour P1, 23,5 t/ha/an pour P2+G et 14,5 t/ha/an pour C. Sur ces 3 échelles spatiales, il s'avère que les taux d'érosion totaux s'expliquent bien par la combinaison linéaire d'un taux unique d'érosion des surfaces cultivées et d'un taux unique d'érosion ravinaire incluant une pondération par les surfaces respectives de ces deux éléments. Ce résultat laisse penser que les processus de dépôt sont négligeables sur le versant, amenant à conclure à une très forte connectivité hydro-sédimentaire. Il permet également d'estimer une contribution de l'érosion ravinaire au flux total de sédiment à 40 % environ pour P2+G, et 25 % environ pour C.

### Bibliographie :

El Khalili A., Raclot D., Habaieb H., Lamachère J.M. (2013). *Factors and processes of permanent gully evolution in a Mediterranean marly context (Cape Bon, Tunisia)*. Hydrological Sciences Journal, 58(7), 1519-1531. doi : 10.1080/02626667.2013.824086.

## Etude comparative des relations entre débit de pointe ( $Q_{max}$ ) et export de matière en suspension (SSY) dans 8 petits bassins versants de France, Mexique et Espagne

NORD Guillaume<sup>1</sup>, DUVERT Clément<sup>1,2</sup>, GRATIOT Nicolas<sup>1</sup>, NAVRATIL Oldrich<sup>3,4</sup>, NADAL-ROMERO Estela<sup>5</sup>, MATHYS Nicolle<sup>4</sup>, NEMERY Julien<sup>1</sup>, REGUES David<sup>6</sup>, GARCIA-RUIZ José-María<sup>6</sup>, GALLART Francesc<sup>7</sup>, ESTEVES Michel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, LTHE, Grenoble, France

<sup>2</sup> : Queensland University of Technology (QUT), School of Earth, Environmental and Biological Sciences, Brisbane, Australie

<sup>3</sup> : Université de Lyon, CNRS, UMR 5600 « Environnement Ville Société », France

<sup>4</sup> : IRSTEA, Unité de recherche Érosion Torrentielle, Neige et Avalanches (ETNA), Grenoble, France

<sup>5</sup> : Universidad de Zaragoza, Departamento de Geografía, Zaragoza, Espagne

<sup>6</sup> : CSIC, Instituto Pirenaico de Ecología (IPE), Zaragoza, Espagne

<sup>7</sup> : CSIC, Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua (IDÆA), Barcelona, Espagne

### Résumé

L'érosion et le transport de matière en suspension (MES) dans les petits bassins versants de montagne impliquent des processus complexes qui se produisent à différentes échelles de temps et d'espace. Les exports de MES à aval sont difficiles à mesurer et à estimer du fait du couplage fort qui existe entre tous ces processus.

Cette étude vise à explorer d'un point de vue statistique les relations entre débit de pointe ( $Q_{max}$ ) et export de MES (SSY) pour huit bassins versants de montagne (de 0,45 à 22 km<sup>2</sup>) situés dans des environnements distincts, à savoir le sud des Alpes françaises, les Pyrénées espagnoles centrales et orientales et les hauts plateaux du centre du Mexique. L'objectif global est d'améliorer la compréhension des facteurs hydrologiques et des processus qui contrôlent SSY dans les petits bassins versants de montagne, et d'évaluer le potentiel d'une relation empirique basée sur les processus pour la prédiction de SSY.

De fortes corrélations (statistiquement significatives) ont été trouvées entre  $Q_{max}$  et SSY dans tous les bassins versants étudiés. Les relations ont été bien décrites par des lois puissance de la forme  $SSY = a Q_{max}^b$ . En comparant, les relations obtenues dans les différents sites, le coefficient  $a$  s'est révélé plus variable que l'exposant  $b$ . La plus grande dispersion du coefficient  $a$  a été expliquée par une combinaison de facteurs physiques qui sont spécifiques à chaque site, comme par exemple le pourcentage des zones dégradées.

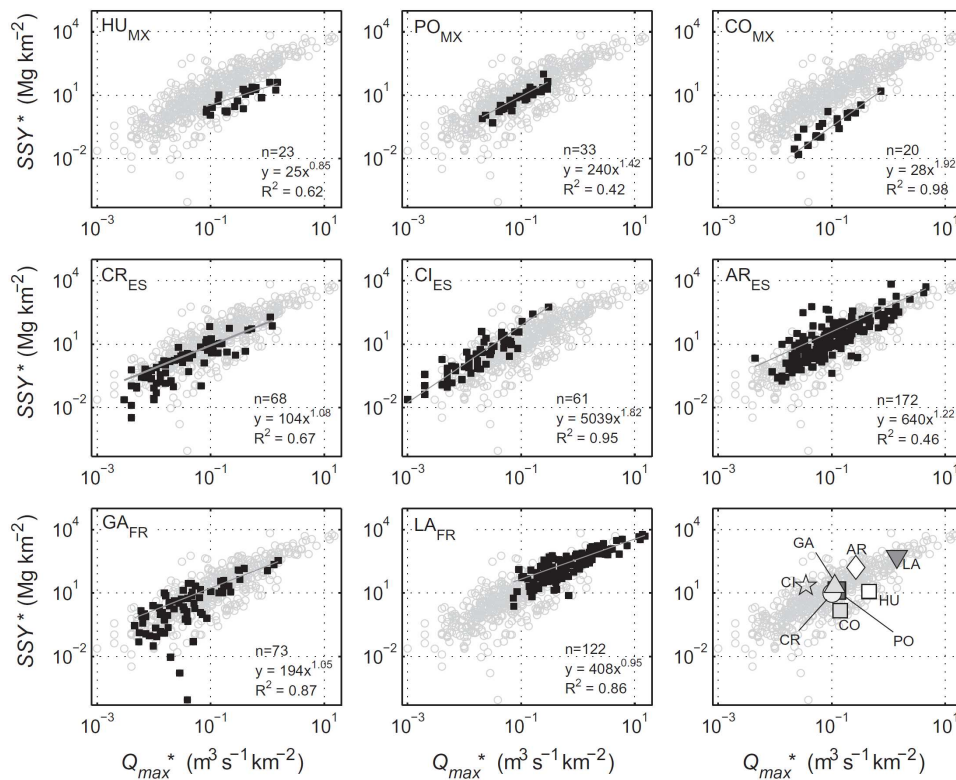


Fig. 1. Modèles de régression  $SSY-Q_{max}$  par bassin comparé au jeu de données complet

Pour évaluer la prévisibilité des modèles de régression, les relations  $SSY-Q_{max}$  ont été calibrées pour chaque bassin versant et pour chaque année pour une période d'apprentissage. Des simulations de  $SSY$  annuel et de  $SSY$  par événement ont ensuite été réalisées pour une période test. Sans surprise, les estimations de  $SSY$  par événement se sont révélées très incertaines. En revanche, les estimations de  $SSY$  annuel sur la base de modèles de régression spécifiques à chaque bassin se sont montrées raisonnablement précises pour tous les sites, avec des inter quantiles ( $Q_{25}$  et  $Q_{75}$ ) presque toujours compris dans l'intervalle d'erreur à  $\pm 50\%$ .

La suite de ces travaux consisterait à améliorer notre compréhension de la variabilité des paramètres  $a$  et  $b$  dans les relations statistiques  $SSY-Q_{max}$  en fonction des caractéristiques physiques des bassins versants, ce qui permettrait la généralisation de leur utilisation dans les bassins non jaugés. Dans l'avenir, la relation  $SSY-Q_{max}$  pourrait aussi être un outil prometteur pour les gestionnaires de rivières et de réservoirs, en fournissant une quantification approximative des pertes en sol sur les bassins versants et/ou des taux d'envasement dans les réservoirs.



## **Simulations à moyen terme des redistributions des sols à l'échelle d'un paysage viticole méditerranéen.**

**FOLLAIN Stéphane<sup>1</sup>, CIAMPALINI Rossano<sup>2</sup>, DAVID Mélodie<sup>3</sup>, LE BISSONNAIS Yves<sup>2</sup>, COUTURIER Alain<sup>4</sup>, WALTER Christian<sup>5,6</sup>**

<sup>1</sup> : UMR LISAH, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex1, follain@supagro.inra.fr

<sup>2</sup> : UMR LISAH, INRA, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, rossano.ciampalini@gmail.com ; lebisson@supagro.inra.fr

<sup>3</sup> : GEODE UMR 5602, Université de Toulouse II, Maison de la Recherche, Toulouse, melodie.david@etu.univ-tlse2.fr

<sup>4</sup> : UR0272 Science du sol, INRA, CS 40001, 45075 Orléans Cedex 2, Alain.Couturier@orleans.inra.fr

<sup>5</sup> : UMR 1069 SAS, INRA, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes, christian.walter@agrocampus-ouest.fr

<sup>6</sup> : UMR 1069 SAS, AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes

### **Simulations à moyen terme des redistributions des sols à l'échelle d'un paysage viticole méditerranéen.**

Le paysage correspond à un niveau d'intégration spatiale intermédiaire entre la parcelle et la région géographique qui apparaît pertinent pour aborder l'effet des changements globaux sur la ressource en sol (Pennock et Velkamp, 2006 ; Sommer, 2006). Son extension permet d'aborder les interactions entre milieu et activité anthropique, qui se déroulent sur des étendues différentes (Hall, 1983). Les propriétés des sols peuvent être modifiées par des processus de redistribution liés à l'érosion hydrique ou aratoire (Hairsine et Rose, 1992a ; 1992b ; Lindstrom *et al.*, 1992 ; Quine *et al.*, 1999), influencés par les contextes topographiques et climatiques, mais avec une contribution majeure de la composition et de la structure du paysage (Delmas, 2012). Les structures anthropiques (haies, fossés) ont également une forte influence sur la distribution spatiale et l'évolution des sols (Follain *et al.*, 2006 ; 2009). De ce fait, des stratégies de conservation des sols raisonnées à l'échelle des paysages offrent des opportunités supplémentaires par rapport à la seule prise en compte de l'échelle parcellaire (Ritchie *et al.*, 2007).

Dans le cadre de l'ANR LandSoil (Walter dir. *et al.*, 2009-2012), nous avons développé le modèle numérique Landsoil (Fig. 1) (Ciampalini *et al.*, 2012) sur la base du modèle Stream (Cerdan *et al.*, 2002) et du modèle WaTEM /SEDEM (Govers *et al.*, 1994). Landsoil est un modèle événementiel, distribué et dimensionné pour des résolutions spatiales fines (1-10 m). Ses caractéristiques en font un modèle adapté pour simuler l'évolution des paysages agricoles de type « bassin versant » pour des temps compris entre 10 et 100 ans. Il est basé sur une représentation détaillée des paysages agricoles (aménagements, états de surface, chemins d'eau). Les processus incrémentés sont les processus d'érosion hydrique diffuse, d'érosion hydrique concentrée déjà disponibles dans Stream, et de façon nouvelle, l'érosion aratoire selon le formalisme proposé dans WaTEM /SEDEM (Govers *et al.*, 1994), le transfert des particules érodées et leur dépôt. De la sorte, Landsoil est capable avec un paramétrage dynamique de la topographie de modéliser l'évolution de l'épaisseur des sols à chaque pas de temps et d'espace sur la base de paramètres distribués.



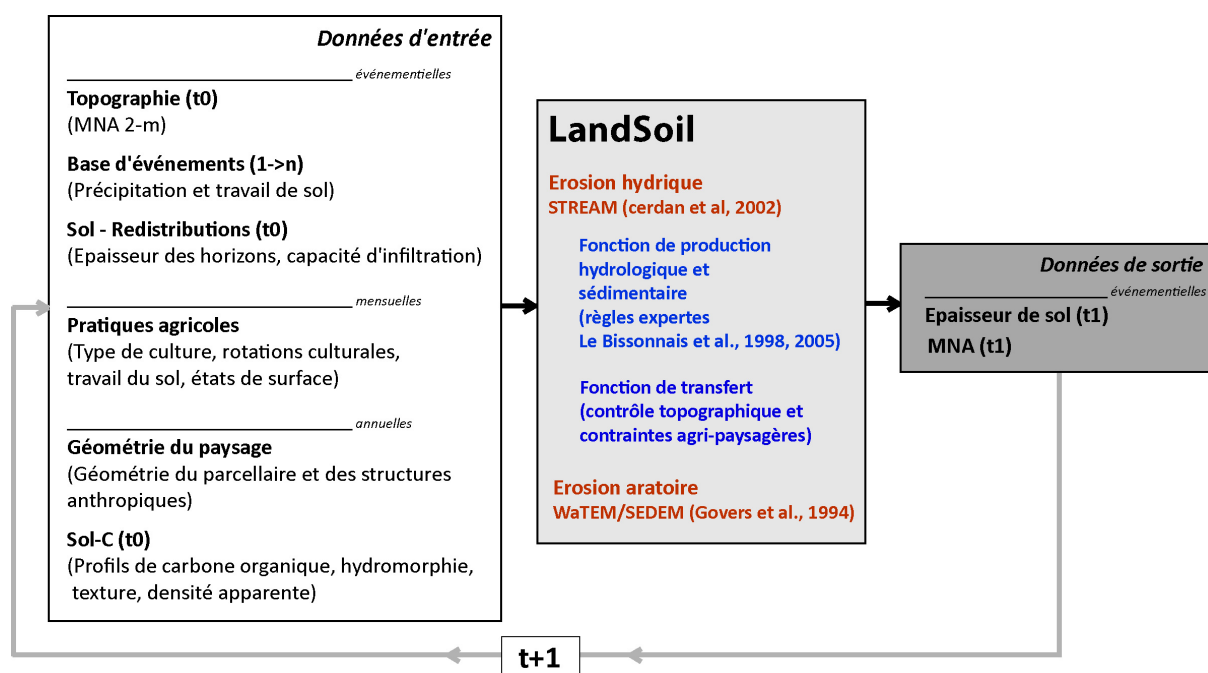


Figure 1 – Schéma de fonctionnement du modèle Landsoil (MNA : Modèle Numérique d'Altitude).

Nous présenterons le modèle Landsoil ainsi que les différentes stratégies de paramétrage et de validation adoptées (Ciampalini *et al.*, 2012). Puis dans un second temps nous présenterons une mise en application en contexte viticole méditerranéen. L'objectif de ce second travail était de comparer l'effet de différents scénarios d'occupation de sol et d'aménagement de l'espace sur l'évolution des sols, sur une période allant de l'actuel à 2100 (David *et al.*, 2014).

Les résultats globaux montrent que l'allocation non raisonnée des occupations et des pratiques induit des pertes en sol supérieures à celles liées à différentes modalités d'aménagement. Ces pertes sont potentiellement douze fois supérieures à celles mesurées aujourd'hui. Dans le cas de ce paysage viticole méditerranéen, les dégradations potentielles apparaissent considérablement supérieures au potentiel de conservation. L'analyse des redistributions internes suggère que l'occupation de sols est un facteur prépondérant contrôlant la production en sédiment alors que la structure du paysage contrôle essentiellement la connectivité hydro-sédimentaire.

- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Saby, N., 2002. Hydrological Processes 16, 3215-3226.
- Ciampalini, R., Follain, S., Le Bissonnais, Y., 2012. Geomorphology 175-176, 25-37.
- David, M., Follain, S., Ciampalini, R., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Walter, C., 2014. Geomorphology 214, 10-21
- Delmas, M., Pak, L.T., Cerdan, O., Souchère, V., Le Bissonnais, Y., Sorel, L., 2012. Journal of Hydrology, 420: 255-263.
- Follain, S., Minasny, B., McBratney, A. B., Walter, C., 2006. Geoderma 133, 71-86.
- Follain, S., Walter, C., Bonté, P., Marguerie, D., Lefevre, I., 2009. Geoderma. 150 (3-4), 334-343.
- Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P., Poesen, J., Bunte, K., 1994. European Journal of Soil Science 45, 469-478.
- Hairsine, P.B., Rose, C.W., 1992a. Water Resources Research 28, 245-250.
- Hairsine, P.B., Rose, C.W., 1992b. Water Resources Research, 28, 237-243.
- Hall, G.F., 1983. Pedology and geomorphology. In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F. (Eds), Pedogenesis and Soil Taxonomy : I. Concepts and Interaction. Elsevier, NY, 177-140.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Schumacher, T.E., 1992. Soil & Tillage Research, 24, 243-255.
- Pennock, D.J., and A., Veldkamp., 2006. Geoderma 133:1-5.
- Quine, T.A., Walling, D.E., Chakela, Q.K., Mandiringana, O.T., Zhang, X., 1999. Catena, 36, 115-142.
- Ritchie, J.C., McCarty, G.W., Venteris, E.R. and Kaspar, T.C., 2007. Geomorphology, 89(1-2): 163-171.
- Sommer, M., 2006. Geoderma, 133(1-2): 107-123.
- Walter, C. (dir.) et al., 2009-2012. ANR VMCS Landsoil : structure du paysage et conservation des sols sous des conditions évolutives d'occupation du sol et de climat.

## **Systeme de Caracterisation des Agrégats et des Flocs (SCAF)**

WENDLING Valentin<sup>1</sup>, LEGOUT Cédric<sup>1</sup>, GRATIOT Nicolas<sup>1</sup>, MERCIER, Bernard<sup>1</sup>,  
COULAUD, Catherine<sup>1</sup>, MORA, Henri<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>:Univ. Grenoble Alpes, LTHE, F-38000 Grenoble, France.

### **Pourquoi et comment mesurer des flux de chute de manière automatisée ?**

La plupart des équations décrivant le transport de particules mettent en balance le flux de chute des MES et le flux turbulent de l'écoulement qu'il soit sur versant (Hairsine et Rose, 1992) ou en rivière (Winterwerp, 2001). Même si des techniques de mesures in situ (microscopie, laser, holographie) des grandeurs caractérisant les vitesses de chute (taille, forme, densité) ont été développées dans les zones côtières, fluviales et estuariennes (Fennessy et al. 1994, Mikkelsen et al., 2005), elles ne sont pas transposables aux petits bassins versants de montagne. La principale limitation réside dans les gammes de concentrations atteignant fréquemment plusieurs dizaines de gramme par litre durant les crues (Navratil et al., 2011). Pour répondre à ce besoin, un Système de Caractérisation des Agrégats et des Flocs (SCAF) in situ est en cours de développement par le pôle technique Electronique et Développement Instrumental du LTHE. Le principe de mesure repose sur l'étude de la décantation des sédiments par turbidimétrie, directement après le prélèvement des échantillons au sein des flacons de collecte. Le SCAF, dans sa version automatisée, devrait permettre de caractériser les flux de chute instantanés dans les cours d'eau quelles que soient les concentrations dans l'écoulement avec des applications évidentes pour l'étude des niveaux de turbidité dans les rivières, la caractérisation des flux de contaminants adsorbés et le dimensionnement de bassins de décantation des équipementiers hydro-électriques.

### **Quels résultats et quelles potentialités pour le SCAF ?**

Les mesures réalisées avec le SCAF ont été validées sur des matériaux non cohésifs et cohésifs en comparant des mesures réalisées par 4 autres méthodes et ce pour 7 matériaux différents allant de sables (Fig. 1) à des agrégats de sol (Fig 2.) ou des vases de barrages. Les vitesses de chute déduites du SCAF sont en accord avec les résultats des autres méthodes. Des mesures SCAF, nous déduisons également des indices caractérisant la propension du matériau à flocculer. Ces indices sont systématiquement de l'ordre de 1 pour des matériaux non cohésifs (sable) et peuvent atteindre 50 ou 60 pour des matériaux très réactifs, ce qui témoigne de la cohérence des mesures.

En complément de cette validation en laboratoire nous avons réalisé des mesures in-situ lors d'une chasse hydraulique de barrage opérée sur l'Arc. Là encore les mesures SCAF donnent des vitesses de chute similaires à celles obtenues par une autre méthode.

L'ensemble de ces développements est réalisé en étroite collaboration avec des chercheurs nationaux mais également du Canada (I.Droppo) et du Royaume Unis (A.J. Manning). Le travail a fait l'objet d'une demande de brevet.

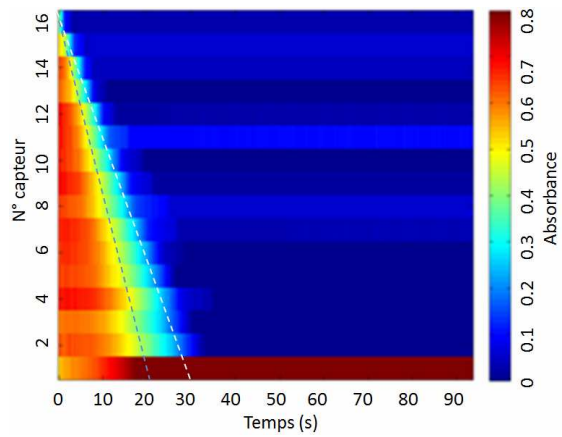


Fig. 1. Vitesses de chute estimées par le SCAF de 5 à 10  $\text{mm s}^{-1}$  pour un sable.

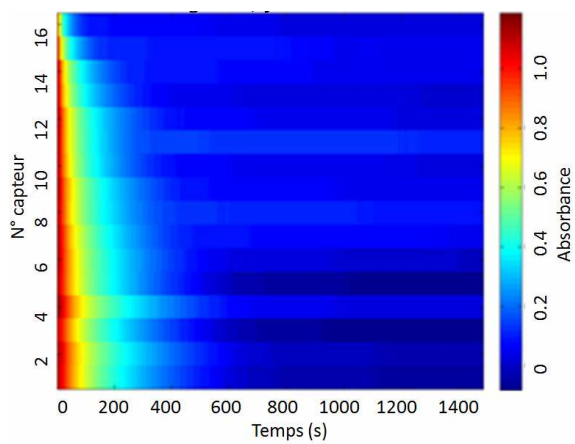


Fig 2. Vitesses de chute estimées par le SCAF de 0.8 à 4  $\text{mm s}^{-1}$  pour un sol argileux.

Brevet n° FR 1360167 « SCAF système de Caractérisation des Agrégats et des Floccs » déposé en oct. 2013. Inventeurs: Gratiot N., Coulaud C., Legout C., Mercier M., Mora H., Wendling W.

## Influence d'un taillis à courte rotation de *Robinia pseudoacacia* sur les propriétés physiques des sols

MORVAN Xavier<sup>1</sup>, LARATTE Sébastien<sup>1</sup>, BERTRAND Isabelle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Université de Reims Champagne-Ardenne, GEGENAA- EA 3795, 51100 Reims, [xavier.morvan@univ-reims.fr](mailto:xavier.morvan@univ-reims.fr)

<sup>2</sup>: INRA, UMR 614 Fractionnement des AgroRessources et Environnement, Reims, 51100, France

Le mode d'occupation des sols, les pratiques agricoles et la couverture du sol ont une influence significative sur les propriétés physiques du sol (Kodesova et al., 2011; Bagarello et al., 2011; Yuksek et al., 2010). En particulier, les pratiques agricoles (labour, semis etc...) peuvent mener à une dégradation des propriétés physiques des sols. Par exemple, le passage des engins agricoles entraîne le développement de surfaces compactées (Coutadeur et al., 2002) et conduit au tassement du sol de la surface vers la profondeur, accompagné d'une baisse de la porosité et d'une nouvelle distribution des classes de pores (Richard et al., 1999). La conductivité hydraulique baisse (Stepniewski et al., 1994) diminuant ainsi l'infiltration au profit du ruissellement superficiel (Quiquerez et al., 2008). Dans les terres arables, le ruissellement superficiel et l'érosion des sols sont favorisés par l'absence de couverture végétale au cours d'une partie de l'année (Ruiz-Colmenero et al., 2013) et par la baisse de la stabilité structurale en raison de la baisse de la teneur en matière organique (Haynes et Swift, 1990).

Dans ce contexte, peu d'études se sont focalisées sur les conséquences sur le sol d'une conversion d'une terre arable en un taillis à courte rotation (TCR). L'objectif de notre travail est de déterminer l'influence de l'implantation d'un TCR de *Robinia pseudoacacia* sur les propriétés physiques du sol.

Pour cela, des échantillons de sols ont été prélevés sur 1ha dans des parcelles se différenciant pour leur degré d'anthropisation et leur couvert végétal. Ces prélèvements ont été réalisés dans la ferme expérimentale de Grignon (78) sous forêt naturelle, prairie, culture (blé) et taillis à courte rotation de Robinier planté en 20XX. Différentes mesures ont été réalisées : i) des mesures de rétention en eau à des valeurs de potentiels matriciels allant de 0 à -15 000 hPa, ii) des mesures de stabilité structurale selon la méthode décrite dans Le Bissonnais (1996), iii) des mesures de densité apparente en utilisant la méthode pour sols caillouteux recommandée par l'USDA (USDA, 2001), iv) des mesures de conductivité hydraulique en utilisant des infiltromètres à disques et v) des mesures de la dynamique de minéralisation de l'azote. Les mesures sont en cours. Elles seront analysées et présentées au Congrès.

### Bibliographie

- Bagarello, V., Baiamonte, G., Iovino, M., 2010. Comparing physical quality of forest and pasture soils in a sicilian watershed. *Soil Science Society of America Journal* 75 (5), pp. 1958-1970.
- Coutadeur, C., Coquet, Y., Roger-Estrade, J., 2002. Variation of hydraulic conductivity in a tilled soil. *European Journal of Soil Science* 53 (4), pp. 619-628.
- Haynes, R.J. and Swift, R.S., 1990. Stability of soil aggregates, *Journal of soil science* 41, 73-83
- Kodesova, R., Jirku, V., Kodes, V., Muhlhanselova, M., Nikodem, A., Žigová, A., 2011. Soil structure and soil hydraulic properties of Haplic Luvisol used as arable land and grassland. *Soil and Tillage Research* 111 (2), pp. 154-161.

- Le Bissonnais Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47, 425-437.
- Quiquerez, A., Brenot, J., Garcia, J.P. & Petit, C. 2008. Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. *Catena* 73, 89-97.
- Richard, G., Boizard, H., Roger-Estrade, J., Boiffin, J., Guerif, J., 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. *Soil Tillage Res.* 51, 151–160.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D.J., Marques, M.J., 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena* 104 , pp. 153-160.
- Stepniewski, W., Glinski, J. & Ball, B.C. 1994. Effects of compaction on soil aeration properties. In *Soil Compaction in Crop Production*.(eds B.D. Soane & C. van Ouwerkerk), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 167–190.
- United States Department of Agriculture, 2001. Soil Quality Test Kit Guide. [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test\\_kit\\_complete.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test_kit_complete.pdf), last acces 11/08/2013. 88p.
- Yüksek T., Kurdoğlu O., Yüksek F., 2010. The effects of land use changes and management types on surface soil properties in Kafkasör protected area in Artvin, Turkey. *Land Degradation & evelopment*, 21, 582-590.

## **Phosphorus forms in suspended sediments as indicators of anthropic pressures and sediment origin in a agricultural catchment in southern Brazil**

**TIECHER Tales<sup>1,2</sup>, RHEINHEIMER Danilo dos Santos<sup>1</sup>, SCHENATO Ricardo Bergamo<sup>2</sup>, SANTANNA Maria Alice<sup>1</sup>, CANER Laurent<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> : Universidade Federal de Santa Maria, Department of Soil Science, 1000 Avenue Roraima, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil. tales.t@hotmail.com, danilonesaf@gmail.com, ribschenato@gmail.com, maria.alice.santanna@gmail.com

<sup>2</sup> : Université de Poitiers, IC2MP-HydrASA UMR 7285, 7 rue Albert Turpain, B35, 86022, Poitiers, France. laurent.caner@univ-poitiers.fr

Agricultural activities are among the activities that most disturb the environment in southern Brazil. Inadequate management of cultivated areas exposes the soil to erosion processes, accelerating the transfer of sediment and phosphorus (P) to water bodies, especially when the P fertilization is frequent and employs high doses, as in the tobacco fields. In this study, we evaluated the P forms present in suspended sediments collected at two rainfall events in the stream of the small watershed of Agudo in the state of Rio Grande do Sul in southern Brazil, which is characterized by sloping relief and subtropical climate, and with tobacco as the predominant crop. The objective was to demonstrate that the forms of P present in the suspended sediments in the watershed vary according to the degree of human disturbance, as well as with different seasonal soil managements for tobacco crop (i.e. fallow, transplantation). Suspended sediment samples were collected upstream and downstream in three sub-watersheds with different degree of anthropogenic pressures and in three phases of hydrograph in the watershed outlet during rainfall events occurred during two periods, corresponding to fallow and transplantation of tobacco crop. The sediment P forms were evaluated by successive extraction with anion exchange resin, 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> at pH 8.5, 0.1 M NaOH, 1.0 M HCl, 0.5 M NaOH, and finally by digestion of the residue with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the presence of MgCl<sub>2</sub>. Furthermore, we evaluated the content of total organic and inorganic P. Our results demonstrated that the increase in anthropogenic pressure causes an increase in total inorganic P, decreasing the levels of organic carbon and total organic P in sediment. In the control area, maintained under natural conditions without human interference, the quantity and quality of the eroded material remained the same in both rainfall events, even though they presented total precipitation and intensity quite different. The levels of total P in sediment were not sufficient to determine the influence of soil management prevalent in each sampling period. However, the results of P fractionation clearly show that P in the sediment eroded during the transplantation period of tobacco, when the soil is plowed and it is apply large amounts of phosphate fertilizers, was presented mostly in labile fractions, and therefore has higher potential for pollution than the sediments eroded during the fallow period. It was also demonstrated that the sediment P forms may be used as indicators of sediment origin in time and space, and that the method of chemical fractionation of P provides some tracers properties with great potential for use in studies of identification of sediment sources.

## Caractérisation de l'érosion sous teck à l'aide de mesures de $^{137}\text{Cs}$ et de concentrations en carbone organique dans les sols. Application à un petit bassin versant au Laos

Florian Bourgeois (1,2), Olivier Evrard (2), Sylvain Huon (1),  
Christian Valentin (1), Sophie Ayrault (2)

(1) Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement (iEES Paris), Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu. 75252 Paris cedex 05

(2) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Bâtiment 12, Domaine du CNRS, Avenue de la Terrasse. 91198 Gif/Yvette.

L'érosion, hydrique et éolienne, des sols est responsable de 15% des pertes en terres à la surface de la Terre (Lal, 2001). Outre l'appauvrissement des sols, l'érosion accroît la charge en suspension des rivières, entraîne la dégradation de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques et engendre de graves problèmes d'envasement notamment au niveau des retenues d'eau (Downing et al., 2008). Les matières érodées en suspension dans les rivières sont en outre les vecteurs de polluants comme métaux, HAP ou bactéries pathogènes, voire même de radioactivité comme l'illustrent les études menées autour de la centrale de Fukushima au Japon (Evrard et al., 2013). En milieu tropical et en particulier dans les régions du SE asiatique, les changements rapides d'occupation des sols couplés à une forte érosivité des pluies saisonnières accroissent les phénomènes d'érosion des sols sur les bassins versants depuis leur mise en culture (Valentin et al., 2008). C'est le cas pour le bassin versant de Houay Pano au Laos sur lequel notre étude a été effectuée. L'une des solutions choisies pour y remédier est la reforestation en teck. Sur le bassin versant étudié, la proportion de surfaces plantées est en constante augmentation depuis 2007 mais l'on connaît mal l'impact de ces arbres sur l'érosion des sols et l'exportation de matière.

Pour évaluer cet impact et estimer la composition moyenne des particules exportées par l'érosion de ces sols nous avons échantillonné des parcelles initialement cultivées par défriche - brûlis sur fortes pentes depuis les années 1960 puis, plantées en tecks depuis 5 ans, 19 ans et 25 ans. Nous avons mesuré les activités résiduelles en  $^{137}\text{Cs}$  provenant des retombées des explosions atomiques des années 1960 ainsi que la teneur en carbone organique des sols (TOC). Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la distribution moyenne des activités  $^{137}\text{Cs}$  et des concentrations en TOC dans les 1-3 premiers centimètres du sol en utilisant des composites prélevés: 1) entre les arbres, 2) dans les zones d'accumulation - ablation observées en amont et en aval des arbres et, 3) sous les pierres qui coiffent les "cheminées de fées", spectaculaires figures d'érosion, visibles dans les plantations de tecks. 36 échantillons de sol, tamisés à 2 mm, ont été analysés par spectrométrie  $\gamma$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) et par couplage CHN-IRMS (TOC). L'activité en  $^{137}\text{Cs}$  décroît avec l'âge de la plantation. Elle est significativement plus élevée pour les sols situés entre les tecks de 5 ans que pour les tecks de 19 ans ( $p < 0,05$ ) et de 25 ans ( $p < 0,01$ ) avec respectivement  $1,6 \pm 0,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $1,3 \pm 0,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$  et  $1,1 \pm 0,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (Fig. 1). Cette dernière activité est plus faible que dans l'horizon de surface des sols cultivés sur le bassin versant ( $2,1 \pm 0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$  après correction de la désintégration radioactive) ce qui se traduit donc, après 25 ans, par une perte en terres supérieure à celle des sols cultivés. Par contre, les teneurs en carbone organique restent proches (1,8 – 2,2 %), légèrement inférieures après 19 ans pour l'un des deux sites étudiés uniquement, ce qui indique un renouvellement partiel des matières organiques même si le TOC reste, au final, plus faible que pour la moyenne des sols cultivés ( $2,3 \pm 0,6 \%$ , Huon et al., 2013). Les différences de marquage  $^{137}\text{Cs}$ -TOC entre zones présumées d'accumulation en amont des troncs d'arbres et zones de

perles à l'aval ne sont cependant pas évidentes. L'activité moyenne en  $^{137}\text{Cs}$  obtenue pour l'horizon de sol situé immédiatement sous les pierres qui coiffent les cheminées de fées est élevée, et décroît aussi avec l'âge des tecks, de  $1,8 \pm 0,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$  à  $1,1 \pm 0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Elle est légèrement supérieure à celle du sol environnant (Fig. 1), ce qui indique soit que le recouvrement du sol par les pierres s'est effectué après le dépôt du  $^{137}\text{Cs}$  en surface soit qu'une redistribution de matière depuis la surface a entraîné les particules de sol sous des pierres initialement présentes dans le sol. Cette "fossilisation" est aussi caractérisée par une teneur en carbone organique proche de celle de sols non recouverts.

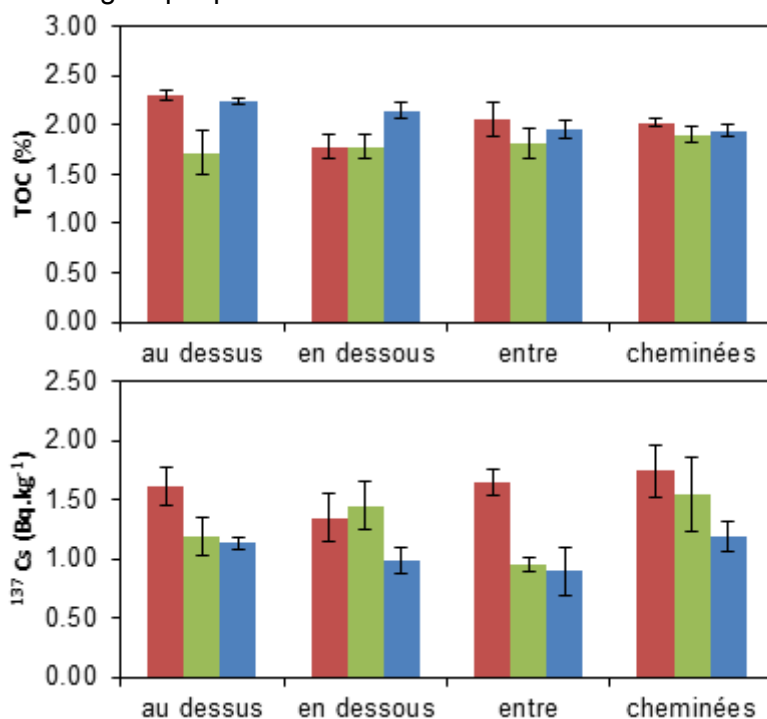


Fig. 1 – Concentrations en TOC et activités  $^{137}\text{Cs}$  moyennes du sol de surface en fonction de l'âge des tecks pour différentes localisations (au-dessus et en dessous des arbres, entre les arbres et sous les "cheminées de fées"). En rouge, vert et bleu les tecks d'âge respectif 5 ans, 19 ans et 25 ans.

Les résultats de cette étude montrent que l'implantation de tecks sur des sols cultivés sur fortes pentes entraîne, après 19-25 ans, une perte en terres supérieure à celle de cultures traditionnelles et que l'érosion des sols s'en trouve d'autant accélérée. Après 5 ans, les effets de la plantation ne sont pas encore (en moyenne) décelables. Les caractéristiques du sol échantillonné immédiatement sous les pierres qui coiffent les "cheminées de fées" nous renseignent directement sur celles des sols dans lesquelles elles se sont formées.

#### Références bibliographiques.

- Downing, J.A., Cole, J.J., Middelburg, J.J., Striegl, R.G., Duarte, C.M., Kortelainen, P., Prairie, Y.T., Laube, K.A., (2008). Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles* 22 (GB1018), doi:10.1029/2006GB002854.
- Evrard O., Chartin C., Onda Y., Patin J., Lepage H., Lefèvre I., Ayrault S., Otle C., Bonté P., (2013). Evolution of radioactive dose rates in fresh sediment deposits along coastal rivers draining Fukushima contamination plume. *Scientific Reports* 3 : 3079, DOI: 10.1038/srep03079.
- Huon S., de Rouw A., Bonté P., Robain H., Valentin C., Lefèvre I., Girardin C., Le Troquer Y.b, Podwojewski P., Sengtaheuanghoung O., (2013). Long-term soil carbon loss and accumulation in a catchment following the conversion of forest to arable land in northern Laos. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 169 (2013) 43–57.
- Lal, R., (2008). Soil erosion and carbone dynamics. *Soil & Tillage Research*, 81 : 137-142.
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J.P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J.L., Orange, D., Phachomphonh, K., Do Duy Phai, Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silvera, N., Subagyono, K., Thiébaux, J.P., Tran Duc Toan, Vadari, T., (2008). Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128, 225–238.



## **Augmenter la précision spatiale et temporelle du suivi agronomique sur un bassin versant viticole méditerranéen**

FAGES David, BELOTTI Jean-Luc, ANDRIEUX Patrick et COULOUMA Guillaume  
UMR LISAH , INRA, 2 place Viala, 34060 Montpellier, fages@supagro.inra.fr

### **1 .Introduction**

L'observatoire de Recherche en Environnement « OMERE » a pour objectif principal d'observer et de comprendre l'impact des activités agricoles sur les écoulements d'eau et le transfert de matières en milieu méditerranéen. Il acquiert des références et des données sur des périodes longues d'observation et un nombre significatif d'évènements climatiques intenses. Un des deux sites d'observation a pour périmètre un bassin versant de 91 ha essentiellement viticole dans l'ouest du département de l'Hérault. Le suivi des flux en sortie du bassin versant nécessite de connaître avec précision les pratiques agricoles de chaque intervenants sur le site. Généralement ces informations étaient récoltées par le biais d'enquêtes agronomiques classiques qui présentent deux inconvénients importants. D'une part les informations recueillies ne sont pas toujours précises tant au niveau des dates qu'au niveau des types d'interventions. D'autre part, les données récoltées sont difficile à rattacher à l'échelle des parcelles. Une des particularités de cet observatoire est que la totalité des parcelles appartiennent à de nombreux propriétaires privés (35 pour environ 100 parcelles) qui gère leurs pratiques de façon individuelles. Par ailleurs ayant sollicité les propriétaires à de nombreuses reprises depuis notre installation sur le site en 1992, la réalisation d'enquêtes régulières s'est avéré de plus en plus difficiles. Nous avons réfléchi à une nouvelle manière de collecter ces informations.

### **2. Matériels et Méthodes**

Nous avons mis en place un protocole basé principalement sur une observation fine et régulière de chaque parcelle concernant les pratiques agricoles, associée à l'observation des états de surface du sol. Ce protocole est complété chaque année par une enquête téléphonique simplifiée, qui concerne principalement les applications d'intrants. Cela nous permet d'avoir des données exhaustives au niveau temporel (cycle cultural complet) et au niveau spatial (échelle parcellaire). Ce suivi se déroule sur une vingtaine de journées tout au long de l'année. Le choix des dates peut varier car certaines périodes sont peu propices au travail du sol et la partie désherbage chimique ne démarre vraiment qu'aux alentours du mois de février. Notre présence sur le bassin versant tout au long de l'année dans le cadre de nos missions annexes nous permet d'intervenir rapidement en cas de reprise des activités agricoles. Les variables observées sont divisées en trois groupes :

- Les informations générales associées à la parcelle et à la culture
- Les informations qui concernent les travaux liées au cycle cultural de la plante.
- Les informations liées au travail du sol et à l'application de produits chimiques.

Ces dernières sont des variables qui sont récoltées et qui nécessite une interprétation en les associant à l'analyse de l'évolution des états de surface du sol, et aux relevés des précipitations enregistrées par les stations météo du site.

Données observées pour chaque parcelle :

Relevés informations parcelles	Description :
N° de parcelle Culture Mode de conduite Commentaire	Vigne, céréales, arbres fruitiers, autres Palissé, non palissé Plantation, arrachage, mise en culture.
Variables observées liées au cycle cultural	Description
Pré-taille Taille  Broyage Epamprage mécanique vigne  Ecimage vigne  Récolte	Préparation mécanique de la taille Raccourcissement des bois. La taille limite la croissance de la plante, régularise la production en qualité et en quantité. Consiste à broyer au sol les bois taillés. L'épamprage permet d'éliminer des rameaux non fructifères qui démarrent au pieds. Consiste à réduire l'extrémité des rameaux de vigne en pour en limiter l'expansion.
Variables observées et interprétées	Description
Travail mécanique du sol   Apports de produits chimiques ou organiques	Outils utilisés Etat de la croute : sans croute (FO), présence de croute partielle (F1), présence d'une croute continue (+/- épaisse - F2) sur le rang ou l'inter-rang. Présence d'herbe sur le rang ou inter-rang (%). Traces visibles de fertilisation, de désherbage chimique et de traitements phytosanitaires.

Exemple pour une parcelle :

Parcelle	Date	Culture	Travail Irg	Taux herbe	Travail Irg	Taux herbe	Travail Rg	Taux herbe	Pré-taille
Aw 117	18/04/14	VP	NT 1/4	50-75%	TRd 3/4	0-5%	NT	5-25%	Oui
Taille	Fertilisation	Epamprage	Désherbage IRG	Désherbage Rg	Traitement Phyto	Epamprage	Ecimage	Récolte	
Oui	Chimique enfoui	Non	Pas de traces	Oui	Pas de traces	non	non	non	



### 3. Résultats

La récupération des données et leurs interprétations nous permettent d'établir un calendrier cultural pour chaque parcelle (ex : de la récolte à la récolte) en reconstituant un itinéraire technique précis, travail du sol, interventions chimiques. Les résultats du cycle cultural 2012/2013 seront présentés. Cette méthode nous permet également d'obtenir une série de carte qui permettent de visualiser l'évolution des pratiques agricoles (Pourcentage de parcelles désherbées, pourcentage de parcelles travaillées mécaniquement, etc...) mais également d'avoir des informations sur l'infiltrabilité de surface avant un évènement pluvieux.

## **Analyse des processus d'érosion gouvernant le transfert des particules sur versant**

LEGOUT Cédric<sup>1</sup>, CEA Luis<sup>2</sup>, GRANGEON Thomas<sup>1</sup>, NORD Guillaume<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> : Univ. Grenoble Alpes, LTHE, F-38000 Grenoble, France.

<sup>2</sup> : E.T.S Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidade da Coruña, 15071 A Coruña, Spain.

### **Contexte et objectifs**

La connaissance et la modélisation de l'érosion hydrique constituent un enjeu important en terme de gestion des sols et des cours d'eau. A l'amont, les pertes en sol et en nutriments affectent directement la ressource sol en tant que support à l'agriculture. A l'aval, les matières en suspension (MES) entraînent l'envasement progressif des ouvrages, perturbent les habitats écologiques et la vie aquatique par augmentation de la turbidité et constituent un vecteur privilégié du transport d'éléments polluants (Owens et al., 2005). A l'heure actuelle, les aptitudes des modèles à reproduire les flux de MES sont bien loin des exigences d'ordre prédictif des décideurs. Une des raisons probable de cet échec provient d'une mauvaise prise en compte de la taille des particules, alors que cette propriété, via son impact sur la vitesse de chute des MES, contrôle les distances et les temps de transfert (Wainwright et al., 2008).

La conceptualisation des modèles numériques d'érosion est aujourd'hui telle que la granulométrie des agrégats est souvent réduite à un diamètre médian (Nord et Esteves, 2005). Ce choix de modélisation peut être problématique pour reproduire correctement des transferts de masse dans le cas de la mise en mouvement de granulométries étendues. S'il est vrai que quelques modèles prennent en compte différentes classes granulométriques dans les équations de transport, il n'en existe pas à notre connaissance qui considère la granulométrie des agrégats dès le détachement et la mise en mouvement par impact des gouttes de pluie. Ce processus apparaît pourtant comme potentiellement important, notamment dans le cadre d'érosion diffuse s'opérant sur les versants, lorsque le détachement est principalement limité par les stocks mis à disposition du ruissellement par la pluie. En outre, Grangeon (2012) a observé sur la base d'expériences de simulation de pluie en laboratoire qu'une augmentation de l'énergie cinétique de la pluie s'accompagne d'une tendance à la diminution des tailles de particules splashées.

Ce travail vise à répondre aux deux questions suivantes :

- Quels sont les effets respectifs du forçage par la pluie, autrement dit de la fonction de production, par rapport aux effets de transport par la lame d'eau sur les masses transportées en sortie de versant par fraction granulométrique ?
- Comment la prise en compte d'un détachement sélectif par la pluie impacte-t-elle les masses transférées à l'exutoire d'un versant ? Quelles sont les différences avec une modélisation ne considérant pas un détachement sélectif ?

### **Matériel et méthodes**

Les observations ont été réalisées sur deux parcelles-versant de 120 m<sup>2</sup> instrumentées depuis 2010 (SO OHM-CV - bassin du Gazel). Le sol est argilo limoneux. Pour une dizaine d'évènements pluvieux ruisselant, nous disposons de mesures continues des débits liquides (canaux jaugeurs), des intensités de pluie (pluviomètres) et des énergies de la pluie (disdromètres). Sur la base de prélèvements automatiques répartis sur toute la durée de chaque évènement, nous disposons de concentrations en MES (filtrations) ainsi que des tailles agrégées et dispersées des MES (diffraction laser). La modélisation numérique est effectuée avec un module d'érosion qui a été implémenté dans le modèle Turbillon (Cea et al., In Press). Ce modèle résout les équations de Saint Venant en deux dimensions et l'équation d'advection par la méthode des volumes finis selon un schéma de type Upwind. La principale originalité du module d'érosion et de transport solide réside dans la possibilité de traiter plusieurs classes de tailles de particules.

## Résultats et discussion

Les évènements pluvieux ruisselant présentent des caractéristiques contrastées avec des durées variant de 2h à la journée et des débits liquides maximum de 5 à 50 mm h<sup>-1</sup>. Les MES varient de 0.1 à 5 g l<sup>-1</sup> pour des tailles agrégées de particules de 5 à 200 µm. Pour quelques évènements, des relations significatives entre les tailles des agrégats prélevés à l'exutoire du versant et l'énergie cinétique de la pluie sont observées. En effet, les diamètres médians les plus grossiers mesurés en sortie de parcelle semblent diminuer avec l'augmentation du flux d'énergie cinétique, résultat en accord avec ceux obtenus au cours d'expériences précédentes réalisées en laboratoire. En comparant les observations de terrain à plusieurs simulations numériques de complexité croissante, la démarche proposée vise à hiérarchiser les mécanismes prépondérants dans la production et le transfert des MES.

Cea L., Legout C., Darboux F., Esteves M., Nord G. (In Press) Experimental validation of an overland flow model based on the 2D shallow water equations using high resolution water depth and velocity data. *Journal of Hydrology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.052>.

Grangeon T. (2012). Etude multi-échelle de la granulométrie des particules fines générées par érosion hydrique : apports pour la modélisation. Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier. 208 p.

Nord G., Esteves M. (2005). PSEM\_2D : A physically based model of erosion processes at the plot scale. *Water Resources Research*. 41 : DOI :10.1029/2004WR003690.

Owens P.N., Batalla R.J. Collins A.J., Gomez B., Hicks D.M., Horowitz A.J., Kondolf G.M., Marden M., Page M.J., Peacock D.H., Petticrew E.L., Salomons W., Trustrum N.A. (2005). Fine-grained sediment in riversystems: environmental significance and management issues. *River Res. Applic.* 21:693-717.

Wainwright J., Parsons A.J., Müller E.N., Brazier R.E., Powell D.M., Fenti B. (2008). A transport-distance approach to scaling erosion rates: I Background and model development. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33: 813-826.

## **Transferts particulaire et connectivité des versants aux masses d'eau dans le bassin de la Loire**

**SALVADOR-BLANES Sébastien<sup>1</sup>, CERDAN Olivier<sup>2</sup>, EVRARD Olivier<sup>3</sup>,  
FOUCHER Anthony<sup>1</sup>, GAY Aurore<sup>2</sup>, LEGALL Marion<sup>3</sup>, DESMET Marc<sup>1</sup>,  
VANDROMME Rosalie<sup>2</sup>, LEFEVRE Irène<sup>3</sup>, DEGAN Francesca<sup>1</sup>, MATHIEU  
Aurélia<sup>1</sup>, BOURRAIN Xavier<sup>4</sup>, GAUTIER Jean-Noël<sup>4</sup>, COLMAR Anne<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> : EA 6293 GéoHydrosystèmes Continentaux, Université François Rabelais, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37200 Tours. salvador@univ-tours.fr

<sup>2</sup> : Département Risques et Prévention, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans. o.cerdan@brgm.fr

<sup>3</sup> : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL), UMR 8212 (CEA-CNRS-UVSQ), Avenue de la Terrasse, 91198, Gif-sur-Yvette, France. olivier.evrard@lsce.ipsl.fr

<sup>4</sup> : Agence de l'Eau Loire-Bretagne, avenue Buffon, BP 6339, 45063 Orléans Cedex 2.

### **Introduction**

L'intensification de l'agriculture au cours de la seconde moitié du XXème siècle s'est accompagnée d'une importante modification des paysages ruraux. Cette dernière est notamment la conséquence du remembrement, du recalibrage des cours d'eau, ainsi que du drainage des sols hydromorphes. Cette évolution des paysages a notamment eu pour conséquence un transfert accru de matière particulaire depuis les versants vers les masses d'eau. Il en résulte une altération morphologique généralisée des cours d'eau de têtes de bassins qui représente une menace pour l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau d'ici à 2015.

Le transfert particulaire au sein des versants a plusieurs origines : érosion de surface/subsurface, transferts via les réseaux de drainage, érosion de berges. Toutefois, l'importance relative de ces processus, variable selon les contextes, ainsi que le degré de connectivité entre la matière mise en mouvement sur les versants et celle exportée par les cours d'eau ont été peu étudiés.

L'objectif de l'ensemble des travaux présentés ici est par conséquent de mieux comprendre les transferts particuliers au sein des paysages depuis les versants jusqu'aux masses d'eau, notamment en contexte agricole de plaine. Plusieurs échelles d'approche sont abordées. L'approche à l'échelle locale vise à mieux comprendre les processus sources. L'approche à l'échelle de l'ensemble du bassin Loire-Bretagne vise à établir une cartographie de l'aléa érosion ainsi qu'un modèle distribué de la connectivité des sédiments depuis les versants jusqu'à l'exutoire des bassins.

### **Etude des transferts à l'échelle locale**

Le bassin versant du Louroux, d'une superficie de 2400 ha, est situé à 20 km de Tours. Il est caractéristique des têtes de bassins agricoles de plaine fortement modifiés par l'homme au cours du dernier siècle. Un étang situé à son exutoire a permis d'étudier la dynamique de sédimentation depuis 1950. Une étude sédimentologique intégrant une étude sismique montre que malgré un contexte topographique très peu favorable au transfert de matière

(pente moyenne : 0,4%), la production sédimentaire est importante. Les bilans intégrant la production autochtone montrent ainsi qu'après une période de production sédimentaire intense liée aux remembrements, drainages et recalibrages des cours d'eau des années 1950, la production sédimentaire reste très élevée. Ainsi, entre 2003 et 2013, la quantité de sédiments déposée correspond à un transfert de matière depuis les versants compris entre 1 et 2 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Afin de mieux comprendre la dynamique actuelle des transferts, les cours d'eau et les drains ont été instrumentés en 2013. Chacun des sites est équipé de capteurs et de préleveurs automatiques, permettant de suivre les niveaux d'eau et la turbidité avec une haute résolution temporelle, et de calculer des flux de matières en suspension (MES) à l'échelle de crues et de l'année hydrologique. La dynamique d'érosion des berges a été suivie localement à l'aide de la méthode des « pins » (piquets insérés dans les berges, constituant des repères), indiquant une dynamique infra-annuelle significative. Une étude intégrée sur 70 ans montre que l'érosion de berge a contribué à hauteur de 20 à 66% des exports de matière vers l'étang. L'importance relative des sources à l'origine des MES actuelles est déterminée par comparaison de la signature des MES et des différentes sources en radioéléments (<sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb) et par l'emploi du rapport isotopique du Strontium (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr). Cette technique de traçage est également testée sur d'autres bassins versants du bassin Loire-Bretagne.

### **Etude des transferts à l'échelle du bassin Loire-Bretagne**

Les transferts à l'échelle de l'ensemble du bassin Loire Bretagne sont abordés en deux temps : l'estimation de l'aléa érosif, l'élaboration d'un modèle distribué de la connectivité des sédiments.

La cartographie de l'aléa érosif est effectuée à partir d'une version modifiée du modèle MESALES, prenant en compte les bases de données actuellement disponibles concernant les facteurs de l'érosion. Les nouveaux apports concernant en particulier une meilleure prise en compte de l'occupation du sol et de la donnée sol. Une approche de validation du modèle par expertise locale a également été menée. Les résultats sont fournis à une échelle de 1x1km et sont également intégrés à l'échelle des bassins de masse d'eau, permettant une sortie opérationnelle pour les gestionnaires du bassin Loire-Bretagne.

La modélisation par approche distribuée est fondée sur l'emploi d'indicateurs décrivant les processus de versant et la rétention potentielle en aval, afin de relier les caractéristiques des sous-bassins à une prédiction des exports de sédiments par les rivières. Les premiers résultats montrent que les bassins versants contribuent entre 4.8x10<sup>2</sup> et 3.7.10<sup>5</sup> t.an<sup>-1</sup> de la totalité des exports de la Loire (estimés à 8.6x10<sup>5</sup> t. an<sup>-1</sup>). L'étude des caractéristiques des bassins versants vise *in fine* à identifier les processus dominants de transfert de sédiments et devrait permettre d'établir des bilans sédimentaires distribués permettant ainsi un transfert d'échelle entre les approches locales et les approches intégrées.

## **Suivi et quantification des transferts de matière dans un bassin versant agricole drainé**

**MATHIEU Aurélia<sup>1</sup>, SALVADOR-BLANES Sébastien<sup>1</sup>, FOUCHER Anthony<sup>1</sup>, CERDAN Olivier<sup>2</sup>, EVRARD Olivier<sup>3</sup>, DESMET Marc<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>: E.A. 6293 GéHCO, GéoHydrosystèmes COntinentaux, Université F. Rabelais de Tours, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37200 Tours

<sup>2</sup>: Département Risques et Prévention, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans

<sup>3</sup>: Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL), UMR 8212 (CEA-CNRS-UVSQ), Avenue de la Terrasse, 91198, Gif-sur-Yvette

Au sortir de la Deuxième Guerre mondiale, les agriculteurs ont été incités à se lancer dans une exploitation intensive des parcelles. Le remembrement et la suppression des haies bocagères ont permis de former de grandes parcelles, plus faciles à travailler. Les cours d'eau ont été supprimés, déplacés ou recalibrés, et une politique de drainage a été mise en place afin de contrer l'hydromorphie de certains sols.

Pourtant, ces modifications sont à l'origine de graves atteintes aux écosystèmes. Ces pratiques ont favorisé entre autres une augmentation de l'érosion des terres agricoles, impliquant une augmentation des transferts particuliers des parcelles vers les cours d'eau. Il en résulte alors un colmatage et un envasement important des écosystèmes aquatiques, y compris en contexte agricole de plaine.

L'accumulation de sédiments fins transportés en suspension (MES), augmente la turbidité de l'eau, la lumière pénètre moins bien et donc la photosynthèse diminue. Une baisse de la diversité des habitats et un appauvrissement de la richesse biologique des cours d'eau sont également observés (Bilotta & Brazier, 2008). De plus, l'affinité des éléments traces, du phosphore, de la matière organique et de bien d'autres polluants aux MES, font de ces dernières un vecteur de transport de polluants (Karickhoff, 1979). Dans un contexte d'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015 (Directive Cadre sur l'Eau, 2000), il s'avère essentiel d'étudier ces matières en suspension afin de mieux comprendre leur dynamique et leur provenance.

Pourtant, peu d'études s'intéressent au transfert des particules solides dans les petits bassins versants agricoles (Vanmaestre *et al*, 2001 ; Lefrançois, 2007), et il est difficile d'en

déterminer précisément l'origine (érosion de surface, des berges, transferts via le réseau de drainage). L'objectif de cette étude est par conséquent double :

- quantifier les flux de MES transférées depuis un bassin versant agricole de plaine vers les cours d'eau et étudier leur dynamique à différentes échelles temporelles, depuis celle de la crue, jusqu'à plusieurs années ;
- déterminer la part relative de la contribution des différentes sources, liée aux différents processus de transferts.

Afin de répondre à ces objectifs, le bassin versant du Louroux, d'une superficie de 2400 ha et situé à 20 km au sud de Tours a récemment été instrumenté. Le site, de par l'équipement mis en place, est unique en France en contexte sédimentaire de plaine cultivée et drainée. Depuis 2013, huit stations (sur cours d'eau et drains) enregistrent en continu et tous les quarts d'heure les hauteurs d'eau et la turbidité. Des préleveurs automatiques se déclenchant lorsqu'un seuil de niveau d'eau est atteint, prélèvent des échantillons d'eau sur toute la durée d'une crue. En parallèle, des jaugeages manuels sont réalisés afin d'estimer les débits des cours d'eau en fonction des hauteurs d'eau. Des mesures en laboratoire de concentrations de MES d'échantillons prélevés en crue et hors crue permettront d'analyser le lien entre concentration en MES et turbidité. Ce suivi permettra de quantifier précisément les flux de MES à différentes échelles temporelles.

Parallèlement, une étude de l'origine de ces MES est entreprise. Il s'agit ici de déterminer la contribution relative de chacune des sources (ruissellement, infiltration et érosion des berges) et d'en étudier les éventuelles variations au cours du temps, au moyen de la technique de fingerprinting (Evrard et al., 2013).

**Bilotta** G.S, Brazier R.E, 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42, 2849-2861.

**Evrard** O, Poulenard J, Némery J, Ayrault S, Gratiot N, Duvert C, Prat C, Lefèvre I, Bonté P, Esteves M, 2013. Tracing sediment sources in a tropical highland catchment of central Mexico by using conventional and alternative fingerprinting methods. *Hydrological Processes*.

**Greig** S.M, Sear D.A, Carling P.A, 2005. The impact of fine sediment accumulation on the survival of incubating salmon progeny: Implications for sediment management. *Science of the Total Environment*, 344, 241 – 258.

**Karickhoff**, S.W, 1979. Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments. *Water Research*, 13 : 241-248.

**Lefrançois** J, 2007. Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins versants agricoles sur schiste. Thèse de doctorat de l'Université Rennes 1. 261 p.



## **Comment calculer les services écosystémiques rendus par les sols : un essai sur la base des données du programme « Bioindicateurs de qualité des sols » de l'ADEME**

**HEDDE M.<sup>1</sup>, PERES G.<sup>2,3</sup>, VILLENAVE C.<sup>4</sup>, GATTIN I.<sup>5</sup>, LeGUEDARD M.<sup>6</sup>, HARRIS-HELLAL J.<sup>7</sup>, DEQUIEDT S.<sup>8</sup>, De VAUFLEURY A.<sup>9</sup>, TAIBI S.<sup>5</sup>, GRAND C.<sup>10</sup> et BISPO A.<sup>10</sup>**

- <sup>1</sup> : PESSAC UR 251, INRA Versailles-Grignon. Route de Saint Cyr, F-78000 Versailles  
mhedde@versailles.inra.fr
- <sup>2</sup> : INRA-Agrocampus Ouest UMR SAS, 65 route de Saint Briec, F-35042 Rennes Cedex, [peres@agrocampus-ouest.fr](mailto:peres@agrocampus-ouest.fr)
- <sup>3</sup> : Université Rennes 1, UMR CNRS "Ecobio" 6553, Station Biologique, F-35380 Paimpont
- <sup>4</sup> : ELISOL Environnement, 219 rue des Jacquetières, F-01700 Beignost, [cecile.villeneuve@elisol-environnement.fr](mailto:cecile.villeneuve@elisol-environnement.fr)
- <sup>5</sup> : Agri'terr Esitpa, 3 rue du Tronquet BP 40118, F-76134 Mont Saint Aignan Cedex, [igattin@esitpa.org](mailto:igattin@esitpa.org), [staibi@esitpa.org](mailto:staibi@esitpa.org)
- <sup>6</sup> : LEB Aquitaine Transfert – ADERA, 71 avenue Edouard Bourlaux, F-33140 Villenave d'Ornon, [marina.leguedard@u-bordeaux2.fr](mailto:marina.leguedard@u-bordeaux2.fr)
- <sup>7</sup> : BRGM, SEPI, 3 avenue Claude Guillemin BP36009, 45060 Orléans Cedex 2, [j.harris-hellal@brgm.fr](mailto:j.harris-hellal@brgm.fr)
- <sup>8</sup> : INRA- LMSE, Université de Bourgogne, UMR MSE, 17 rue sully, BP 86510, F-21065 Dijon Cedex, [samuel.dequiedt@dijon.inra.fr](mailto:samuel.dequiedt@dijon.inra.fr)
- <sup>9</sup> : Laboratoire Chrono-environnement, UMR UFC/CNRS 6249, Place Leclerc, F-25030 Besançon Cedex, [benjamin.pauget@univ-fcomte.fr](mailto:benjamin.pauget@univ-fcomte.fr), [michael.coeurdassier@univ-fcomte.fr](mailto:michael.coeurdassier@univ-fcomte.fr), [annette.devaufleury@univ-fcomte.fr](mailto:annette.devaufleury@univ-fcomte.fr)
- <sup>10</sup> : ADEME, 20 avenue du Grésillé, B.P 90 406, F-49004 ANGERS Cedex 01, [cecile.grand@ademe.fr](mailto:cecile.grand@ademe.fr), [laurence.galsomies@ademe.fr](mailto:laurence.galsomies@ademe.fr), [antonio.bispo@ademe.fr](mailto:antonio.bispo@ademe.fr)

### **Contexte**

Dans le but de développer et valider des indicateurs biologiques capables d'évaluer la qualité des sols, l'ADEME a mis en place en 2004 un programme national de recherche. Différents descripteurs physico-chimiques mais également biologiques ont ainsi été mesurés sur un ensemble très divers de sites expérimentaux (ex : parcelles cultivées, prairies, forêts, sites pollués et friches). Après 10 ans de travaux, si les résultats obtenus permettent non seulement d'avoir une meilleure compréhension du fonctionnement biologique des sols et de sélectionner un ensemble d'indicateurs biologiques applicables dans différentes situations d'évaluation, il est apparu important de réfléchir également à leur traduction en termes de services écosystémiques.

### **De la notion de service écosystémique à son calcul**

Cette notion de services écosystémiques qui s'est imposée suite au Millenium Ecosystem Assessment (2005), bien que présentant une vision utilitaire (voire utilitariste) des écosystèmes, facilite la communication vers le public et les utilisateurs des sols. Il est ainsi plus aisé d'expliquer l'intérêt de l'activité des vers de terre ou des bactéries pour la régulation des flux

d'eau ou la fourniture de nutriments pour les plantes. Cela permet de légitimer l'intérêt de travailler sur les sols et ses organismes. Quatre types de services fournis par les écosystèmes ont été définis dans le MEA : services d'approvisionnement, services de régulation, services culturels et services de soutien des écosystèmes. Les organismes du sol contribuent à l'ensemble de ces services (bien que la fourniture de services culturels soit beaucoup moins décrite et fasse l'objet de moins de travaux de recherche).

A partir de la littérature, les fonctions écologiques requises pour la réalisation de chaque service écosystémique (SE) ont été identifiées et les 4 SE suivants ont été choisis : fonction de réaction/tampon, habitat pour la biodiversité, recyclage des nutriments, production de biomasse. Une liste de 35 indicateurs biologiques et physicochimiques a ensuite été dressée afin de lier conceptuellement les SE, les fonctions écologiques requises et les bioindicateurs renseignant ces fonctions. Une fonction d'agrégation peut alors permettre de calculer les services écosystémiques potentiels (SEp) de chaque situation. Il a finalement été choisi de calculer la modification des services écosystémiques potentiels ( $\Delta$ SEp) par rapport à une référence. Les  $\Delta$ SEp sont alors définis comme la somme des rapports entre la valeur d'un indicateur et celle du même indicateur dans une situation de référence, tel que proposé par Rutgers (2012). Les résultats sont exprimés par fonctions requises (EPX) et le  $\Delta$ SEp global est calculé par la pondération selon les recommandations du comité d'orientation.

$$EPX = 10^{-\left( \frac{\left| + \log \left( \frac{VAR_{obs}^i}{VAR_{ref}^i} \right) \right| + \dots - \left| \log \left( \frac{VAR_{obs}^j}{VAR_{ref}^j} \right) \right|}{n} \right)}$$

où :

- EPX correspond à la fonction d'intérêt,
- $VAR^{i,j}$  aux variables mesurées,
- ref à la situation de référence choisie
- obs à la situation observée,

## Résultats

Cette approche a été appliquée à des sites agricoles (ex : introduction de prairie dans les rotations culturales, essai comparant différentes modalités de travail du sol), forestiers ou contaminés (ex : pollution métallique, pollution mixte organique et métallique). Les résultats obtenus seront discutés en termes d'intérêt pour l'expression et la communication des résultats mais également de méthodologie (ex : choix de la situation de référence).

## Quels bioindicateurs et biomarqueurs utiliser pour la surveillance de la qualité des sols et l'évaluation des risques environnementaux?

PERES G.<sup>1,2</sup>, PAUGET B.<sup>3</sup>, BEGUIRISTAIN T.<sup>4</sup>, BESSOULE JJ.<sup>5,6</sup>, BODILIS J.<sup>7</sup>,  
CHAUSSOD R.<sup>8</sup>, CLUZEAU D.<sup>2</sup>, CHEVIRON N.<sup>9</sup>, COEURDASSIER M.<sup>3</sup>,  
CORTET J.<sup>10,11</sup>, CRIQUET S.<sup>12</sup>, DEQUIEDT S.<sup>8</sup>, De VAUFLEURY A.<sup>3</sup>, DUR J.C.<sup>9</sup>,  
FAURE O.<sup>13</sup>, GANGNEUX C.<sup>14</sup>, GATTIN I.<sup>14</sup>, GUERNION M.<sup>2</sup>, HELLAL J.<sup>15</sup>, HEDDE  
M.<sup>9</sup>, HITMI A.<sup>16</sup>, LAURENT N.<sup>14</sup>, LEGRAS M.<sup>14</sup>, LeGUEDARD M.<sup>5,6</sup>, LEPELLETIER  
P.<sup>14</sup>, MOUGIN C.<sup>9</sup>, NELIEU S.<sup>9</sup>, PONTON S.<sup>17</sup>, RANJARD L.<sup>8</sup>, ROUGÉ L.<sup>2,18</sup>,  
RUIZ N.<sup>19</sup>, TAIBI S.<sup>14</sup>, VANDENBULCKE F.<sup>20</sup>, VILLENAVE C.<sup>21,22</sup>,  
GALSOMIES L.<sup>23</sup>, GRAND C.<sup>23</sup> et BISPO A.<sup>23</sup>

<sup>1</sup> : INRA-Agrocampus Ouest UMR SAS, 65 route de Saint Briec, F-35042 Rennes Cédex, peres@agrocampus-ouest.fr

<sup>2</sup> : Université Rennes 1, UMR CNRS "Ecobio" 6553, Station Biologique, F-35380 Paimpont, daniel.cluzeau@univ-rennes1.fr, [muriel.guernion@univ-rennes1.fr](mailto:muriel.guernion@univ-rennes1.fr)

<sup>3</sup> : Laboratoire Chrono-environnement, UMR UFC/CNRS 6249, Place Leclerc, F-25030 Besançon Cedex, benjamin.pauget@univ-fcomte.fr, michael.coeurdassier@univ-fcomte.fr, annette.devaufleury@univ-fcomte.fr

<sup>4</sup> : Laboratoire Interdisciplinaire des environnements continentaux, UMR 7360 CNRS - Université de Lorraine, F-54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, thierry.beguiristain@univ-lorraine.fr

<sup>5</sup> : Université Victor Segalen Bordeaux 2, Laboratoire de Biogénèse Membranaire UMR 5200, Bâtiment A3, INRA Bordeaux Aquitaine BP81, 71 avenue Edouard Bourlaux, F-33883 Villenave D'Ornon cedex, Marina.Le-guedart@biomemb.u-bordeaux2.fr, Jean-Jacques.Bessoule@biomemb.u-bordeaux2.fr

<sup>6</sup> : LEB Aquitaine Transfert – ADERA, 71 avenue Edouard Bourlaux, F-33140 Villenave d'Ornon, marina.leguedard@u-bordeaux2.fr

<sup>7</sup> : Université de Rouen UMR CNRS 6143 Morphodynamique continentale et côtière. Place Emile Blondel 76821 Mont Saint Aignan, josselin.bolidis@univ-rouen.fr

<sup>8</sup> : INRA- LMSE, Université de Bourgogne, UMR MSE, 17 rue sully, BP 86510, F-21065 Dijon Cedex, samuel.dequiedt@dijon.inra.fr, Remi.Chaussod@dijon.inra.fr

<sup>9</sup> : PESSAC UR 251, INRA Versailles-Grignon. Route de Saint Cyr, F-78000 Versailles mhedde@versailles.inra.fr, dur@versailles.inra.fr, christian.mougin@versailles.inra.fr, nathalie.cheviron@versailles.inra.fr,

<sup>10</sup> : LSE, UMR 1120 Université de Lorraine/INRA, av. de la Forêt de Haye, F-54505 Vandoeuvre-les-Nancy

<sup>11</sup> : UMR 5175 CEFE, Equipe Ecologie des Arthropodes et Changements Globaux, Université Paul Valéry Montpellier III, route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5. jerome.cortet@univ-montp3.fr

<sup>12</sup> : IMBE, UMR CNRS 7263-IRD 237, Equipe VEM, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, F-13397 Marseille Cedex 20 [steven.criquet@imbe.fr](mailto:steven.criquet@imbe.fr)

<sup>13</sup> : ENS des Mines de St-Etienne, 158 Cours Fauriel, F-42023 Saint-Etienne Cedex 2, [faure@univ-st-etienne.fr](mailto:faure@univ-st-etienne.fr)

<sup>14</sup> : Esitpa, 3 rue du Tronquet BP 40118, F-76134 Mont Saint Aignan Cedex,

igattin@esitpa.org, nlaurent@esitpa.org, mlegras@esitpa.org, plepelletier@esitpa.org, staibi@esitpa.org, cgangneux@esitpa.org

<sup>15</sup> : BRGM, Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies, 3 avenue Claude Guillemin BP36009, 45060 Orléans cedex 2, j.hellal@brgm.fr

<sup>16</sup> : Laboratoire de PBV - IUT de Clermont-Ferrand - Université d'Auvergne, F-15000 Aurillac, adnane.hitmi@iut.u-clermont1.fr

<sup>17</sup> : UMR 1137, INRA-UHP "Forest Ecology and Ecophysiology", F-54280 Champenoux, ponton@nancy.inra.fr

<sup>18</sup> : Ingénierie Durable, 7 rue Armand Herpin-Lacroix, CS 73902, F- 35039 Rennes cedex, rouge.laurence@ingenieriedurable.fr

<sup>19</sup> : IRD Bondy, UMR 211 BIOEMCO, 32, avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex, ruiz@bondy.ird.fr

<sup>20</sup> : Université Lille Nord de France, Laboratoire Génie Civil et géoEnvironnement LGCgE-Lille 1, Ecologie Numérique et Ecotoxicologie, F-59650 Villeneuve d'Ascq cedex. franck.vandenbulcke@univ-lille1.fr

<sup>21</sup> : IRD, UMR 210 Eco&Sols (INRA-IRD-CIRAD-Montpellier SupAgro), 2 place Viala, F-34060 Montpellier Cedex 1

<sup>22</sup> : ELISOL Environnement, 219 rue des Jacquetières, F-01700 Beynost, cecile.villenave@elisol-environnement.fr

<sup>23</sup> : ADEME, 20 avenue du Grésillé, B.P 90 406, F-49004 ANGERS cedex 01, cecile.grand@ademe.fr, laurence.galsomies@ademe.fr, antonio.bispo@ademe.fr

Le sol est une ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes qu'il convient de protéger. Mettre en place et suivre des actions de protection, de réhabilitation et de meilleures gestions des sols sur le long terme, nécessite de disposer d'indicateurs capables de renseigner sur la dégradation et/ou la restauration des propriétés et des fonctions des sols. Les indicateurs classiquement utilisés reposent sur des propriétés physiques et chimiques des sols alors que les paramètres biologiques, bien que en répondant de manière intégrative aux stress environnementaux permettent de renseignant sur l'état global des sols, sont peu intégrés dans la description de la qualité des sols. Face à ce constat d'un manque d'indicateurs biologiques (bioindicateurs) l'ADEME a mis en place en 2004 un programme national de recherche qui visait à i) développer de nouvelles méthodes de mesure de la diversité et des fonctions des organismes du sol, les valider et les normaliser dans différents types de sol et d'utilisation, ii) démontrer la sensibilité et la complémentarité des bioindicateurs pour caractériser différentes perturbations (ex : contamination, changement d'usage et de pratiques agricoles), iii) identifier des bioindicateurs pertinents (tant en terme de sensibilité qu'en termes de fonctionnalité, transférabilité) répondant aux besoins et attentes spécifiques des gestionnaires de sols agricoles, forestiers et contaminés (surveillance de la qualité des sols, évaluation des risques environnementaux, évaluation du potentiel de requalification d'un sol ..).

Grâce à plus de 10 années de travaux, séquencées en deux étapes et impliquant 22 équipes de recherche, le programme a permis non seulement d'acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement biologique des sols et d'initier un premier référentiel national, mais également de définir des outils (batteries d'indicateurs, indices agrégés) adaptés aux différentes problématiques environnementales que sont i) l'évaluation des impacts des pratiques agricoles telles que le travail du sol, la gestion des rotations, les apports de déchets ou de pesticides, ii) l'évaluation des transferts des contaminants d'origine industrielle vers la chaîne trophique terrestre et leurs effets, iii) l'évaluation de l'état biologique d'un sol contaminé délaissé afin de le requalifier pour un usage futur, et iv) la biosurveillance des sols sur des sites à

grandes échelles. Ces principaux acquis seront présentés et discutés en termes de qualité de la réponse biologique, d'accessibilité et de transférabilité des outils biologiques vers les utilisateurs potentiels (<http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/>). Le couplage de ces résultats avec d'autres travaux en cours permettra de proposer des batteries optimales d'indicateurs biologiques adaptées à chacune des problématiques listées ci-dessus.

## **Les vers de terre : indicateurs et acteurs d'évolution des anthroposols et des pollutions associées au sein des Bassins d'Infiltration??**

BEDELL Jean-Philippe<sup>1</sup>, MOURIER Brice<sup>1,2</sup>, PIRON Denis<sup>3</sup>, SARLES Landry<sup>1</sup>,  
MARCHAND Philippe<sup>4</sup>, HAMMADA Myriam<sup>1</sup> et WINIARSKI Thierry<sup>1</sup>

1 : LEHNA, UMR CNRS 5023, Université Lyon1, Equipe IPE, ENTPE, Rue Maurice Audin, Vaulx-en-velin; bedell@entpe.fr

2 : GRESE, EA 4330, Université de Limoges, 123 avenue Albert Thomas, 87060, Limoges

3 : ECOBIO, UMR CNRS 6553, Université de Rennes1, Station biologique de Paimpont, 35380 Paimpont, Fr.

4 : LUNAM Université, Oniris, USC INRA 1329 Laboratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments (LABERCA), F-44307, Nantes, France

### **Contexte**

Parmi les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, on compte des systèmes de collecte et d'infiltration de ces eaux comme les bassins d'infiltration (BI). Ces systèmes d'infiltration se remplissent lorsqu'il pleut, et s'assèchent après infiltration. A la surface de ces BI, des dépôts de particules transportées par les eaux pluviales forment alors une couche organo-minérale. Ces dépôts de particules forment alors un ou plusieurs horizons, colonisé(s) par les végétaux et contenant des teneurs en polluants importantes (métaux lourds, hydrocarbures, PCB). Bien que leur dénomination comme «sédiment» permette de garder à l'esprit l'origine de ces matériaux, le terme «anthroposol», semble plus approprié pour désigner cette couche de surface des bassins d'infiltration. La question de la présence et du rôle des organismes du sol (notamment des vers de terre) au sein des anthroposols de BI a déjà été évoqué dans des travaux antérieurs sur la mobilité des polluants (Badin, 2010, Saulais, 2011).

Dans le cadre du programme GESSOL FAFF (Fonction Filtration d'un ouvrage urbain - Conséquence sur la Formation d'un Anthroposol) réalisé dans différents bassins d'infiltration de l'Est Lyonnais, la présence, la biomasse et la diversité des vers de terre ont été mesurés ainsi que les concentrations de métaux et PCB dans les tissus de ces organismes. A terme, l'objectif ultime de ces travaux est d'évaluer le rôle des vers de terre dans la formation et l'évolution de cet anthroposol (notamment sur le recyclage des matières organiques et sur la fonction filtration de l'ouvrage), le rôle sur la mobilité des polluants et si ces organismes peuvent être utilisés comme indicateur de la qualité de ces milieux récepteurs.

### **Matériels et méthodes**

Cette étude exploratoire a été réalisée dans le BI dit « Django Reinhardt » (noté DJ) situé dans la zone industrielle de la commune de Chassieu (69680). D'une taille de 0,8 ha, il reçoit les eaux d'un bassin de rétention situé en amont qui proviennent du ruissellement de la pluie du bassin versant industriel de 235 ha. Un autre bassin a été sélectionné en zone plus urbaine (lotissement, routes, parking, ...), il s'agit du BI dit « Le Carreau » (noté LC), d'une taille de 370 m<sup>2</sup> et drainant une surface de 65 ha, situé à Meyzieu (69330). Nous avons réalisé des prélèvements sur des parcelles représentatives de chaque bassin. Chaque parcelle a été choisie en fonction de la quantité de sédiments, de l'éloignement par rapport à l'arrivée d'eau, et de la diversité/typologie végétale présente.

#### *Echantillonnage des vers de terre*

Cet échantillonnage a été réalisé par une extraction dite « éthologique » des vers de terre via l'application d'une solution irritante (moutarde diluée) à la surface de l'anthroposol des BI. Le

protocole utilisé correspond à celui proposé par l'Observatoire Participatif des Vers de Terre (OPVT : [http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT\\_accueil.php](http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php)). L'extraction consiste à répéter l'épandage de 10L d'une solution moutardée sur une surface de 1m<sup>2</sup>. La solution employée contient 300 g de moutarde Amora® Fine et Forte diluée dans 10 litres d'eau. Suite aux arrosages (espacés de 15min), les vers remontés à la surface, sont récoltés et rincés dans une baignoire d'eau. Au vu du nombre de quadras effectués sur les deux bassins (14 pour DJ et 3 pour LC) les échantillonnages ont dû être étalés sur plusieurs journées. Les conditions climatiques du jour de prélèvement ont été enregistrées afin de voir si les variations en abondance peuvent être expliquées par ces conditions.

#### *Détermination des vers de terre et analyses*

Les vers récoltés sont rincés dans de l'eau avant identification puis stockés dans de l'éthanol (90%). Les vers sont caractérisés sous loupes binoculaires en s'appuyant sur des critères morphologiques tels que la présence et le positionnement du clitellum (pour différencier les individus adultes et juvéniles). La détermination a été limitée ici à la structure fonctionnelle des communautés soient la correspondance à l'une des trois catégories écologiques : les épigés, les endogés et les anéciques (Bouché, 1972). Des mesures de métaux (méthode AAS) et de PCB (méthode HRGC/HRMS) ont été réalisées sur des individus séchés sur papier buvard à température ambiante. Afin d'obtenir des quantités de tissus suffisantes pour les analyses, des pools contenant parfois plusieurs dizaine d'individus ont été réalisés.

#### **Résultats / Discussion**

Une forte variabilité de population a été mesurée entre chaque quadra avec des densités comprises entre 0 et 300 vers de terre au mètre carré. On observe les plus fortes valeurs pour les quadras de Chassieu DJ 2, 3, 5, 6, 7 et 16 et pour celui de Meyzieu nommé LC 1, tandis que pour les quadras DJ 8, 10, 11, 12 et LC 2 et 3, le nombre de vers de terre est très faible. Pour les quadras restant (DJ9, 13, 14, 15), aucun vers de terre n'a été retrouvé. Cette variabilité de population est donc visible au sein des deux bassins étudiés. L'augmentation de densité de vers de terre peut être corrélée à celle de la hauteur ou épaisseur, de sédiment qui a été mesurée à chaque emplacement du prélèvement. Quel que soit le bassin, on ne retrouve pas de vers anéciques. La variation de population au sein des BI est illustrée par les différences de proportion entre Endogés et Epigés. On remarque que le nombre d'endogés est supérieur à la quantité d'épigés retrouvée dans le bassin DJ pour une proportion de 60% d'endogés et 40% d'épigés. Alors que pour le bassin LC la proportion est inverse entre ces deux familles soit 80% d'épigés et 20% d'endogés.

Les concentrations en PCB (6 PCB-NDL : 28; 52; 101; 138; 153 et 180) et en métaux (Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb et Fe) mesurées dans les vers sont importantes ce qui n'est pas surprenant pour ces milieux « récepteurs » que sont les BI. Les concentrations en PCB bioaccumulées dans les tissus atteignent des valeurs comprises entre 38,11 (DJ16) et 478,83 µg/kg MS (DJ10) pour la somme des 6 congénères. Pour le Zn, les valeurs trouvées sont comprises entre 625,56 (DJ5) et 2195,05 µg/kg MS (DJ2). Concernant les autres métaux mesurés, les concentrations sont plus faibles que pour le Zn. Les différences de concentrations dans les tissus des vers de terre des deux bassins sont à comparer aux teneurs et paramètres des sols. Cela permettra d'évaluer s'il existe une bioconcentration dans ces organismes et si l'on peut la relier à certaines propriétés des sols (stabilité des phases porteuses, degré d'évolution de la MO, ...).

#### **Bibliographie :**

- Badin, A-L. (2010). Répartition et influence de la matière organique et des microorganismes sur l'agrégation et le relargage de polluants dans des sédiments issus de l'infiltration d'eaux pluviales urbaines. Thèse INSA Lyon, 230 p.  
 Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France : Ecologie et Systématique*.  
 Saulais, M. (2011). *Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention*. Thèse INSA Lyon, 245 p.

## Impacts des pratiques culturelles sur l'écosystème du sol dans les plantations d'hévéa du Nord-est de la Thaïlande

Milena Till<sup>1</sup>, Alain Brauman<sup>1</sup>, Bénédicte Chambon<sup>2</sup>, Cécile Bessou<sup>2</sup>, Frederic Gay<sup>3</sup>, Arunee Promkhambut<sup>4</sup>, Prakaijan Nimkingra<sup>5</sup>, Henri Robain<sup>1</sup>, Nitjaporn Koonklang<sup>6</sup>

<sup>1</sup> IRD, UMR Eco&Sols, LDD, Bangkok 10900, Thailand, till.milena@gmail.com, brauman.ird@gmail.com, Henri.Robain.IRD@gmail.com

<sup>2</sup> CIRAD "Performance of Tree Crop-based Systems", F-34398 Montpellier, France, benedicte.chambon@cirad.fr, cecile.bessou@cirad.fr

<sup>3</sup> CIRAD, UMR Eco&Sols, HRPP, R&D Building, 3rd Floor, Kasetsart University, Chatuchak, 10900 Bangkok, Thailand, frederic.gay@cirad.fr

<sup>4</sup> Program on System Approaches in Agriculture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand, arunee@kku.ac.th

<sup>5</sup> Département de Entomology, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand, muiaslinda@hotmail.com

<sup>6</sup> IRD, UMR Eco&Sols, KhonKaen University, Khon Kaen 40002, Thailand, korat\_2549@yahoo.com

### Abstract

Le maintien de la fertilité du sol, facteur principal d'une agriculture durable, dépend en partie du maintien de la biodiversité (Brussaard et al., 2007). Les plantations forestières sont soit décriées, soit vantées pour leurs impacts environnementaux, sans pour autant que les arguments invoqués par les promoteurs ou les détracteurs ne soient solidement étayés par des travaux scientifiques (Epron et al., 2011). Mieux définir les impacts de l'agriculture sur les services écosystémiques du sol est particulièrement crucial dans les zones tropicales où les cultures pérennes sont en rapide expansion au détriment possible de zones écologiquement fragiles et pauvres. C'est le cas du développement de l'hévéaculture dans le Nord-est de la Thaïlande. Dans cette zone peu propice, les plantations villageoises se multiplient avec des pratiques plus ou moins adaptées au contexte défavorable (six mois de saison sèche, sols très sableux...). L'objectif de cette étude était d'identifier sur le terrain la variabilité des pratiques culturelles et de mesurer leurs impacts sur le fonctionnement de l'écosystème. Malgré son importance l'effet du précédent cultural a été noyé lors de la création de la typologie, une même classe pouvant présenter des précédents culturaux divers. Ce facteur fera l'objet d'une étude ultérieure afin d'analyser les changements à long terme et de distinguer les impacts directs des pratiques et des impacts indirects à l'échelle des changements d'usage des sols (Figure 1).

Cette étude a recensé sur le terrain les pratiques culturelles de 159 hévéaculteurs dans la province de Khon Kaen. Une typologie de ces pratiques a été ensuite établie à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique. Cette typologie présente 3 classes avec différents niveaux d'intensité de pratiques notamment liée à un gradient en intrants (pesticides, niveau de fertilisation) et en travail du sol. Les 8 plantations parangons de chaque classe ont été échantillonnées sur les caractéristiques physico-chimiques du sol, l'écophysologie des arbres, la diversité macrofaunique de la litière et la dégradation de la litière. La diversité macro-faunique de la litière ne semble pas être impactée par l'intensité de pratiques agronomiques, en revanche l'activité lombricienne (mesurée par la présence de



turricules au sol) diminue fortement dans les plantations où les pratiques sont intensives. Les taux de matière organique, liée à la gestion de la plantation sur le long terme, sont plus importants dans les plantations extensives. On n'observe pas de différence dans le développement de l'arbre dans les différentes pratiques.

D'après Lavelle et al. (2014), la macrofaune constitue un des meilleurs bio-indicateurs de l'impact des pratiques culturales. Néanmoins, dans notre étude la macrofaune de la litière ne s'est pas avérée très sensible aux pratiques et indique qu'il serait certainement nécessaire d'étudier également la macrofaune du sol. Des travaux complémentaires devraient compléter ces résultats préliminaires. Les terres endogées et épigées ne répondent pas de la même façon au changement d'utilisation des sols et à l'intensification des pratiques (Ponge et al. 2013) une étude plus poussée de ces populations serait également à envisager. L'absence de différence dans le développement (circonférence) de l'arbre peut être due à un début de saignée plus avancé dans le cas des pratiques intensives ; le ralentissement de croissance induit pouvant gommer les différences entre pratiques intensives et extensives. Afin de poursuivre cette étude d'évaluation environnementale, un projet de thèse a été soumis dans le but de compléter ces travaux et de les mettre à profit pour développer des indicateurs de biodiversité fonctionnelle des plantations de pérennes adaptés à la méthode de l'analyse de cycle de vie.

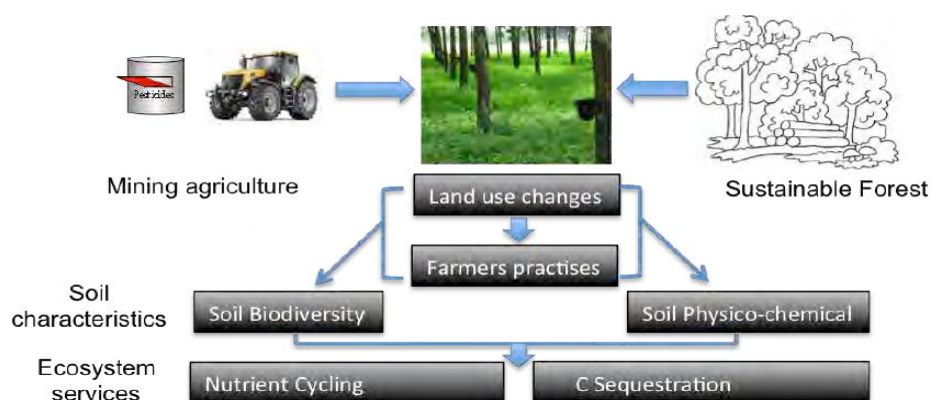


Figure 1 Schéma conceptuel de l'étude

## Référence

- Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233–244. doi:10.1016/j.agee.2006.12.013
- Epron, D., Ngao, J., Dannoura, M., Bakker, M. R., Zeller, B., Bazot, S., ... & Loustau, D. (2011). Seasonal variations of belowground carbon transfer assessed by in situ  $^{13}\text{C}$  pulse labelling of trees. *Biogeosciences Discussions*, 8(1).
- Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., ... Fonte, S. J. (2014). Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 106–117. doi:10.1016/j.agee.2013.12.020
- jean-François Ponge a., Guénola Pérès , Muriel Guernion,., Jérôme Cortet ., Céline Pemin, Cécile Villenave, Fabrice Martin-Laurent, Antonio Bispo, Danial Cluzeau., 2013. "The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study." *Soil Biology and Biochemistry*, (67), pp.271–284.

## **Réponse des assemblages de collemboles à la manipulation expérimentale de la densité des arbres le long d'un gradient d'âge de peuplements de chêne sessile.**

**HENNERON Ludovic<sup>1</sup>, CHAUVAT Matthieu<sup>1</sup>, BUREAU Fabrice<sup>1</sup>, RICHTER Claudine<sup>1</sup>, BOULANGER Vincent<sup>2</sup>, NINGRE François<sup>3</sup>, PERRET Sandrine<sup>4</sup>, BALANDIER Philippe<sup>4</sup> et AUBERT Michaël<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire d'écologie ECODIV, UFR Sciences et Techniques, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan, France

<sup>2</sup> ONF, département de recherche et développement, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau, France

<sup>3</sup> INRA, UMR 1092, LERFoB, Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux, France

<sup>4</sup> IRSTEA, Unité de recherche sur les écosystèmes forestiers, Domaine des Barres, F-45290 Nogent-sur-Vernisson, France

De nouvelles contraintes exercées par le réchauffement climatique font actuellement pressions sur les écosystèmes forestiers et vont imposer une adaptation de leur gestion sylvicole pour préserver leur santé. Ainsi le plan forestier national incite maintenant les gestionnaires forestiers à appliquer un régime d'éclaircie plus intensif afin de réduire la densité des peuplements forestiers. Ceci devrait permettre d'atténuer le risque de stress hydrique accru par des sécheresses estivales qui s'annoncent plus fréquentes à l'avenir. Cependant, peu d'études ont encore évalué l'impact potentiel de cette dynamisation de la gestion forestière sur la biodiversité du sol. Les collemboles représentent une communauté emblématique des sols forestiers. En effet, on les trouve en forte abondance au sein de l'épisolum humifère et ils jouent un rôle essentiel dans la régulation des populations fongiques décomposeurs de litière. De plus, les collemboles ont des sensibilités contrastées aux changements de conditions de milieux provoqués par les pratiques de gestion suivant les espèces. Ils sont ainsi de bons indicateurs biologiques de la qualité des sols forestiers.

L'objectif de notre étude a été d'évaluer à échelle nationale la réponse des assemblages de collemboles à la manipulation de la densité en arbres en futaie régulière de chêne sessile. Pour cela, un réseau de parcelles expérimentales (Réseau GIS coopérative de données & réseau LERFOB – Projet IMPREBIO<sup>1</sup>) dont les peuplements forestiers ont été soumis à des régimes d'éclaircie d'intensité contrastée a été utilisé. Les 33 parcelles étudiées sont regroupées par sites expérimentaux et ces derniers sont répartis dans neuf forêts françaises distinctes. Notre dispositif expérimental englobe ainsi un large gradient d'âge de peuplement, *i.e.* 18 à 171 ans, et de contexte pédoclimatique, *i.e.* sols acides à neutres et climat océanique à continental. Ceci a permis d'étendre nos conclusions à une large échelle géographique et à une grande diversité de conditions de biotope.

Nos résultats montrent que la réponse de la communauté des collemboles à la manipulation de la densité en arbres dépend fortement de l'âge du peuplement. En effet, alors qu'aucune réponse n'a été observée dans les vieux peuplements, l'abondance et la diversité spécifique des collemboles tendent à diminuer lorsque l'on réduit la densité en arbres dans les jeunes peuplements (Fig. 1 a & b). De plus, la composition spécifique des assemblages de collemboles est affectée par la manipulation de la densité en arbres dans les jeunes peuplements. Ce changement est lié aux caractéristiques écologiques type traits d'histoire de vie des espèces. En effet, l'abondance et la diversité spécifique des collemboles hémédaphiques et euédaphiques sont négativement impactées par la réduction de la densité du peuplement (Fig.1 e, f, g & h). A l'inverse, l'abondance des collemboles épédaphiques ne répond pas à la densité du peuplement cependant la diversité spécifique de ce groupe écologique est favorisée par une réduction de la densité en arbres (Fig. 1 c & d). Ces changements au sein de la communauté des collemboles pourraient avoir des répercussions importantes pour l'écosystème forestier, notamment à travers leurs conséquences sur des fonctions écologiques telles que la décomposition de la litière et le recyclage des nutriments.

---

<sup>1</sup> <http://www1.clermont.inra.fr/impregbio/>

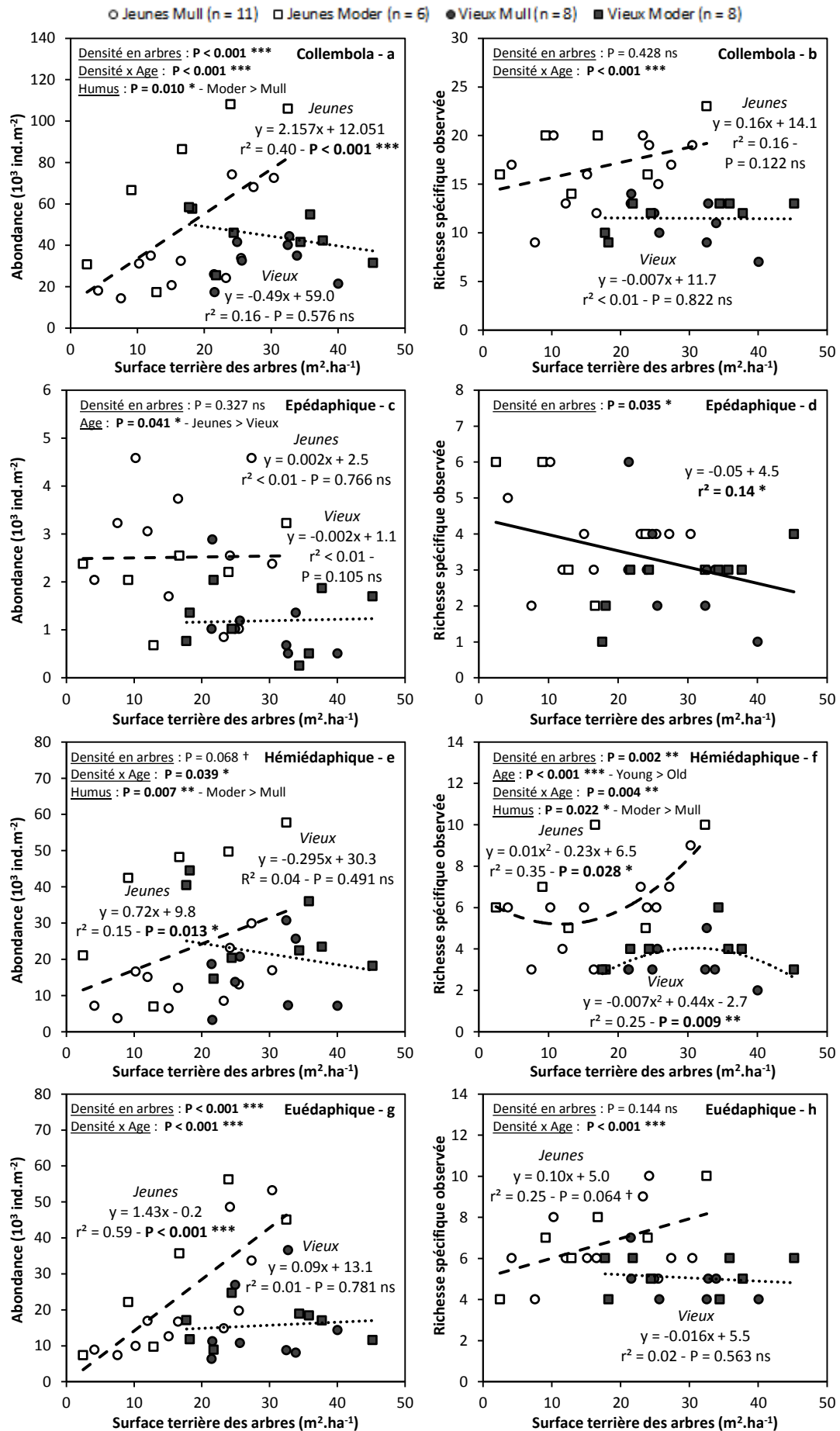


Figure 1 : Patterns de réponse de l'abondance et de la diversité spécifique de la communauté des collemboles et de ces groupes écologiques à la manipulation expérimentale de la densité des arbres suivant l'âge du peuplement et le contexte pédoclimatique (formes d'humus utilisées comme proxy)

## **Modélisation du fonctionnement microbien au centre des échanges de carbone et d'azote entre les plantes, le sol et l'atmosphère**

IBRAHIM Hatem<sup>1</sup>, HATIRA Abdessatar<sup>1</sup>, DREVON Jean-Jacques<sup>2</sup> et PANSU Marc<sup>3</sup>

<sup>1</sup> U.R. 04/UR/10-02 Pédologie, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Université El Manar, 2092 Tunis, Tunisie

<sup>2</sup> Institut National de Recherche Agronomique (INRA), UMR Eco&Sols, Ecologie fonctionnelle et Biogéochimie des Sols et des Agro-Ecosystèmes, Bâtiment 12, 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2, France.

<sup>3</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR Eco&Sols, adresse ci-dessus.

### **Situation de l'étude**

La couche supérieure du sol contient la plus grande réserve de carbone organique (C) et d'azote (N) potentiellement disponible pour la croissance des plantes, elle joue un rôle fondamental dans le cycle de la vie et l'équilibre planétaire. Bien que les microorganismes du sol représentent environ 80% des organismes vivants sur la planète, les modèles globaux existants n'ont généralement pas réussi à mettre en équation leur rôle fonctionnel direct sur la décomposition (Manzoni et Porporato, 2009), une nouvelle génération a été souhaitée qui prenne mieux en compte les mécanismes fondamentaux sans exiger une complexité mathématique excessive (Jizhong Zhou et al. 2011, Todd-Brown et al., 2012, Ibrahim et al., 2013). La proposition du modèle MOMOS (Microorganismes et Matières Organiques du Sol) s'est inscrite dans cette demande en basant ses premières expérimentations sur des traceurs isotopiques <sup>14</sup>C et <sup>15</sup>N, d'abord en proposant un système d'équations en comparaison avec les systèmes existant (Pansu et al., 2004), en le liant aux conditions climatiques, édaphiques (Pansu et al., 2007) et biologiques (Bottner et al., 2006 ; Pansu et al., 2009), en le validant pour le cycle C dans six écosystèmes très contrastés (Pansu et al., 2010) et en l'étendant au cycle N dans les mêmes écosystèmes (Pansu et al., 2014). Ainsi pour la première fois, ce modèle apparaissait comme réellement centré sur le fonctionnement microbien. Ses équations et paramètres avaient permis de définir avec parcimonie l'écologie fonctionnelle de croissance, mortalité, et respiration microbienne en liens étroits avec les conditions environnementales, ce qui le rendait probablement le plus sensible aux changements du climat et de l'usage des terres.

La présente étude visait en conséquence à utiliser au mieux la sensibilité présumée du modèle : était-il possible de prédire les faibles échanges journaliers de C et N entre les plantes, les microorganismes, le sol et l'atmosphère, soit à modéliser le cycle de la vie terrestre soutenu par les réserves organiques du sol ? L'application concernait des systèmes complexes de production céréalière intensifiés par couplage avec des légumineuses à graines fixatrices d'azote en milieu méditerranéen (programme Fabatropimed, financement Agropolis fondation, Montpellier). Il comportait deux défis supplémentaires : (i) coupler les équations de décomposition avec des modules d'eau du sol, de croissances végétales et de symbiotes fixateurs de N vers un nouvel outil pour l'agro-écologie et le changement global (ii) faire tourner l'ensemble en milieu méditerranéen calcaire, avec des équations initialement établies en milieu tropical acide.

### **Résultat**

Les simulations ont été trouvées en bonne concordance avec les données mesurées et celles de la littérature (Ibrahim et al., 2014 ; Pansu et al., 2014). Croissances végétales et

fonctionnement microbien apparaissent prédits par les mêmes fonctions climatiques et colimités par la température en hiver et l'humidité en été. Dans les parcelles expérimentales depuis treize ans en agriculture biologique non fertilisée, la plus grande part de C photo synthétisé était modélisée comme allouée aux racines et perdue pour les parties aériennes et le rendement des récoltes. Ces pertes étaient simulées vers la respiration de croissance des racines de céréales, probablement pour la recherche des nutriments, et la mortalité des racines de légumineuses alimentant la croissance des décomposeurs et peut-être des symbiotes fixateurs d'azote. Au total, le système de culture associée était modélisé comme un puits de plus de 4 Mg C ha<sup>-1</sup> durant la saison culturale, mais uniquement dans C labile d'origine microbienne. Ce compartiment était aussi simulé comme la principale réserve de N potentiellement disponible pour les organismes vivants, très supérieure à celle des micro-organismes, elle-même supérieure à celle de la céréale et égale à celle de la légumineuse. La modélisation des échanges microbiens avec N minéral montrait une immobilisation nette d'azote juste compensée par la fixation symbiotique. Elle a permis de mieux comprendre les flux de C et N entre atmosphère, légumineuse, micro-organismes et céréale et de proposer des solutions agronomiques pour l'amélioration des systèmes de culture en association ou rotation. Le modèle MOMOS apparaît suffisamment sensible et robuste pour modéliser chaque jour les échanges microbiens de C et N entre les plantes, le sol et l'atmosphère, définissant le cycle de la vie terrestre lié aux conditions environnementales. Nous le proposons comme un outil prévisionnel fiable de l'agro-écologie et du changement global.

## Références

- Bottner, P., Pansu, M., Sarmiento, L., Hervé, D., Callisaya-Bautista, R., Metselaar, K., 2006. Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: a field simulation approach using <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N labelled plant material *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2162-2177.
- Ibrahim, H., Hatira, A., Pansu, M., 2013. Modelling the functional role of microorganisms in the daily exchanges of carbon between atmosphere, plants and soil. *Procedia Environmental Sciences* 19, 96-105.
- Ibrahim, H., Pansu, M., Blavet, D., Hatira, A., McDonald, P., Bernoux, M., Drevon, J.J., 2014. The daily exchange of carbon between living organisms, the soil and the atmosphere. Submitted.
- Jizhong Zhou, Xue, K., Xie, J., Deng, Y., LiyouWu, Cheng, X., Fei, S., Shiping Deng, He, Z., Nostrand, J.D.V., Luo, Y., 2011. Microbial mediation of carbon-cycle feedbacks to climate warming. *Nature Climate Change* 1331.
- Manzoni, S., Porporato, A., 2009. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1355-1379
- Pansu, M., Bottner, P., Sarmiento, L., Metselaar, K., 2004. Comparison of five soil organic matter decomposition models using data from a <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N labeling field experiment. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB4022, doi:4010.1029/2004GB002230.
- Pansu, M., Ibrahim, H., Hatira, A., Ibrahim, N., Drevon, J.-J., Harmand, J.-M., Chotte, J.-L., 2014. The daily exchange of inorganic Nitrogen between microorganisms, plant roots, the atmosphere, and the organic reserves of soil. Submitted.
- Pansu, M., Machado, D., Bottner, P., Sarmiento, L., 2014. Modelling microbial exchanges between forms of soil nitrogen in contrasting ecosystems. *Biogeosciences* 11, 915-927, [www.biogeosciences.net/11/915/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/915/2014/)
- Pansu, M., Martineau, Y., Saugier, B., 2009. A modelling method to quantify in situ the input of carbon from roots and the resulting C turnover in soil. *Plant and Soil* 317, 103-120.
- Pansu, M., Sarmiento, L., Metselaar, K., Hervé, D., Bottner, P., 2007. Modelling the transformations and sequestration of soil organic matter in two contrasting ecosystems of the Andes. *European Journal of Soil Science* 58, 775 - 785.
- Pansu, M., Sarmiento, L., Rujano, M.A., Ablan, M., Acevedo, D., Bottner, P., 2010. Modeling Organic transformations by Micro-Organisms of Soils in six contrasting ecosystems: validation of the MOMOS model. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB1008, doi : 10.1029/2009GB003527.
- Todd-Brown, K.E.O., Hopkins, F.M., Kivlin, S.N., Jennifer M. Talbot, J.M., Allison, S.D., 2012. A framework for representing microbial decomposition in coupled climate models. *Biogeochemistry* 109, 19-33.

**Titre: La sensibilité des communautés microbiennes à une augmentation de la température augmente quand la biodégradabilité de la ressource organique baisse.**

**LEFEVRE Romain<sup>1</sup>, BARRE Pierre<sup>2</sup>, MARON Pierre-Alain<sup>3</sup>, DEQUIEDT Samuel<sup>3</sup>, TERRAT Sébastien<sup>3</sup>, BARDOUX Gérard<sup>1</sup>, CHRISTENSEN Bent T.<sup>4</sup>, GIRARDIN Cyril<sup>1</sup>, HOUOT Sabine<sup>5</sup>, KATTERER Thömas<sup>6</sup>, VAN OORT Folkert<sup>7</sup> and CHENU Claire<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>AgroParisTech, UMR 7618 BioEMCo, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France, [Romain.Lefevre2@etu.upmc.fr](mailto:Romain.Lefevre2@etu.upmc.fr); [Gerard.Bardoux@grignon.inra.fr](mailto:Gerard.Bardoux@grignon.inra.fr); [Cyril.Girardin@grignon.inra.fr](mailto:Cyril.Girardin@grignon.inra.fr); [Claire.Chenu@grignon.inra.fr](mailto:Claire.Chenu@grignon.inra.fr)

<sup>2</sup>Laboratoire de géologie, UMR 8538 CNRS-ENS, Ecole normale supérieure, 75005 Paris, France, [Barre@geologie.ens.fr](mailto:Barre@geologie.ens.fr)

<sup>3</sup>UMR Microbiologie du Sol et de l'Environnement, INRA/Université de Bourgogne, CMSE, BP 86510, 17 rue de Sully, 21065 Dijon Cedex, France, [pierre-alain.amaron@dijon.inra.fr](mailto:pierre-alain.amaron@dijon.inra.fr); [samuel.dequiedt@dijon.inra.fr](mailto:samuel.dequiedt@dijon.inra.fr); [sebastien.terrat@dijon.inra.fr](mailto:sebastien.terrat@dijon.inra.fr)

<sup>4</sup>University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agroecology and Environment, DK-8830 Tjele, Denmark, [Bent.T.Christensen@agrsci.dk](mailto:Bent.T.Christensen@agrsci.dk)

<sup>5</sup>Laboratoire EGC, UMR INRA-INAPG, AgroParisTech, Campus Grignon, 78850 Thiverval-Grignon, France, [Sabine.Houot@grignon.inra.fr](mailto:Sabine.Houot@grignon.inra.fr)

<sup>6</sup>Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, SE-75007 Uppsala, Sweden, [Thomas.Katterer@slu.se](mailto:Thomas.Katterer@slu.se)

<sup>7</sup>Laboratoire PESSAC, INRA, F-78026 Versailles, France, [Vanoort@versailles.inra.fr](mailto:Vanoort@versailles.inra.fr)

Les microorganismes sont reconnus comme étant des acteurs majeurs du fonctionnement biogéochimique du sol. Ils sont notamment à l'origine d'au moins la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> de méthane et de gaz azotés du sol vers l'atmosphère. Certaines études ont déjà montré que la quantité de carbone organique du sol (Pennanen et al., 2004; Cooper et al., 2011), ou la qualité du carbone (Blagodatskaya and Anderson, 1998; Feng and Simpson, 2007) ou encore la température (e.g. Feng and Simpson, 2009; Buyer et al., 2010) avaient un impact sur la biodiversité ou la structure des communautés des microorganismes du sol. Cependant, à notre connaissance, la sensibilité de la structure des communautés microbiennes à un stress (comme une forte température) quand la quantité ou la qualité du carbone organique diminue est très mal documentée. Notre objectif est donc d'étudier la structure des communautés microbiennes en réponse à la raréfaction de la ressource organique ainsi qu'à une augmentation de température.

Pour ce faire nous avons sélectionné des échantillons de sol provenant d'essais de jachères nues de longue durée situés à Askov (Danemark), Grignon (France), Ultuna (Suède) et Versailles (France). Nous avons utilisé des échantillons prélevés au début de chaque essai ainsi que des échantillons prélevés après 25, 48, 53 et 79 ans de jachère nue respectivement (qui sont appauvris en carbone organique labile).

Les échantillons ont été incubés à différentes températures (4, 12, 20, 35°C) et à un potentiel matriciel de l'eau constant (pF= 2.5) pendant 427 jours. Pendant l'incubation nous avons mesuré la respiration basale de façon régulière grâce à un micro-GC. Ces mesures ont permis de déterminer que le carbone organique des échantillons prélevés après plusieurs décennies de jachère nue est moins décomposable (i.e. d'une qualité moindre). A l'arrêt des incubations, l'abondance, la structure et la diversité des communautés de bactéries et de

champignons ont été étudiées par des outils moléculaires basés sur la caractérisation de l'ADN extrait du sol (empreinte moléculaire ARISA et pyroséquençage des gènes ribosomiques).

Nos premiers résultats indiquent que la biodiversité ainsi que la structure des communautés bactériennes et fongiques sont fortement influencées par la raréfaction de la ressource. Certains phylas (e.g. Acidobacteria, Actinobacteria, Firmicutes ou encore Ascomycota) sont notamment particulièrement impactés par la disponibilité et/ou la qualité de la ressource carbonée. L'effet de la température est quant à lui plus marqué dans les échantillons qui ont connu une période de jachère nue longue, montrant que la sensibilité des microorganismes à ce stress augmente quand la disponibilité et/ou la qualité de la ressource baisse(nt).

**Mots-clés:** Structure des communautés microbiennes, Diversité, Température, Matières organiques du sol, Pyroséquençage, ARISA.

**Références:**

Blagodatskaya EV, Anderson T-H (1998) Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal-to-bacterial ratio and  $qCO_2$  of microbial communities in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10/11, 1269-1274.

Buyer JS, Teasdale JR, Roberts DP, Zasada IA, Maul JE (2010) Factors affecting soil microbial community structure in tomato cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 831-841.

Cooper JM, Burton D, Daniell TJ, Griffiths BS, Zebarth BJ (2011) Carbon mineralization kinetics and soil biological characteristics as influenced by manure addition in soil incubated at a range of temperatures. *European Journal of Soil Biology*, 47, 392-399.

Feng X, Simpson MJ (2007) Temperature and substrate controls on microbial phospholipid fatty acid composition during incubation of grassland soils contrasting in organic matter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 804-812.

Feng X, Simpson MJ (2009) The distribution and degradation of biomarkers in Alberta grassland soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1558-1570.

Pennanen T, Caul S, Daniell TJ, Griffiths BS, Ritz K, Wheatley RE (2004) Community-level responses of metabolically-active soil microorganisms to the quantity and quality of substrate input. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 841-848.



## Réhabilitation du patrimoine microbiologique de sols pollués par l'implantation de *Miscanthus x giganteus*

**BOURGEOIS Emilie<sup>1</sup>, LAMY Isabelle<sup>2</sup>, VAN OORT Folkert<sup>2</sup>, DEQUIEDT Samuel<sup>3</sup>, LELIEVRE Mélanie<sup>3</sup>, MARON Pierre-Alain<sup>1,3</sup>, et RANJARD Lionel<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>: UMR 1347 Agroécologie, INRA/AgroSup/uB, Equipe BIOCOM, Dijon, [emilie.bourgeois@dijon.inra.fr](mailto:emilie.bourgeois@dijon.inra.fr)

<sup>2</sup>: UR251 PESSAC, INRA, Versailles, [vanoort@versailles.inra.fr](mailto:vanoort@versailles.inra.fr), [isabelle.lamy@versailles.inra.fr](mailto:isabelle.lamy@versailles.inra.fr)

<sup>3</sup>: UMR 1347 Agroécologie, INRA/AgroSup/uB, Plateforme GenoSol, Dijon, [samuel.dequiedt@dijon.inra.fr](mailto:samuel.dequiedt@dijon.inra.fr), [melanie.lelievre@dijon.inra.fr](mailto:melanie.lelievre@dijon.inra.fr), [pamaron@dijon.inra.fr](mailto:pamaron@dijon.inra.fr), [lionel.ranjard@dijon.inra.fr](mailto:lionel.ranjard@dijon.inra.fr)

La forte industrialisation des sociétés (mines métallifères, industries métallurgiques, utilisation d'engrais et d'amendements, dispersion des eaux usées) a conduit à l'introduction généralisée d'éléments traces métalliques (ETM) dans notre environnement, provoquant la contamination aiguë et diffuse des sols, les rendant inutilisables pour la production agricole. Une approche permettant leur ré-exploitation consiste à implanter des cultures à vocation énergétique telles que le *Miscanthus x giganteus* (*MxG*), une plante en C4 servant à produire du bioéthanol et des pellets pour chaudières à granulés. Au delà du potentiel économique de cette pratique, il est toutefois important de déterminer si la culture de *MxG* permet également une amélioration de la qualité des propriétés biologiques du sol, et donc une réhabilitation « écologique » de ces sols pollués.

L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'impact de la plantation de *MxG* sur les propriétés biologiques, et plus précisément microbiologiques du sol. Pour cela, le travail s'est appuyé sur un essai mis en place sur le site de Pierrelaye-Bessancourt dont la zone agricole a été irriguée pendant plus de cent ans par des eaux usées non traitées. L'effet du *MxG* sur les communautés microbiennes du sol a été évalué par la caractérisation de l'abondance et la diversité des communautés (bactéries et champignons) par des outils moléculaires (extraction de l'ADN du sol, estimation de la biomasse moléculaire et séquençage massif des gènes ribosomiques). L'impact de la culture de *MxG* a été testé (a) par comparaison des propriétés microbiennes du sol entre une parcelle labourée avec rotation de cultures et une parcelle sur laquelle du *Miscanthus x giganteus* était implanté depuis quatre ans, et (b) par une comparaison de l'évolution, sur deux ans suivant l'implantation de *MxG*, de l'abondance et de la diversité des communautés de bactéries et de champignons entre une zone toujours irriguée et une zone non-irriguée avec les eaux usées non traitées.

Nos résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative d'abondance microbienne sous *MxG* ou sous culture avec labour, ni même lors de l'étude de l'évolution des communautés en zone irriguée et non-irriguée. Cependant la culture bioénergétique de *MxG* entraîne une modification de la composition taxonomique des communautés de bactéries et de champignons, favorisant le développement de populations symbiotiques par rapport à la culture conventionnelle avec labour. Le suivi de la dynamique des communautés microbiennes telluriques suite à l'implantation du *MxG* a permis de mettre en évidence une réponse importante de la diversité des communautés de bactéries et de champignons après deux ans d'implantation du *MxG*. Cette réponse est d'autant plus marquée lorsque la culture



de *MxG* n'est plus irriguée avec les eaux usées. La dynamique de réponse et l'identité des populations stimulées par l'implantation de *MxG* indiquent que cette culture pourrait permettre une réhabilitation du patrimoine microbien de ces sols pollués.

## **Evaluation de l'impact des métaux lourds dans les sols à micro-échelle par une approche de séquençage haut-débit (NGS)**

**LEHEMBRE Frédéric, NAVEL Aline, VINCE Erwann, SEBASTIANUTTI Sophie, SPADINI Lorenzo, MARTINS Jean M.F**

Laboratoire d'Etudes des Transferts en Hydrologie et Environnement, LTHE, UMR 5564, CNRS-INSU/Univ. Grenoble I/INPG/IRD  
[frederic.lehembre@ujf-grenoble.fr](mailto:frederic.lehembre@ujf-grenoble.fr) ; [jean.martins@ujf-grenoble.fr](mailto:jean.martins@ujf-grenoble.fr)

### **Contexte**

Les pollutions d'origine industrielle ou agricole ont engendré une forte augmentation de la teneur en métaux dans l'environnement. Les effets toxiques de ces métaux perturbent et modifient les équilibres compétitifs entre espèces de microorganismes du sol, entraînant en retour une altération des cycles biogéochimiques fondamentaux (C, N, P...). Le rôle clé des microorganismes dans la fertilité des sols, ainsi que la spécificité et la sensibilité de leurs réponses aux stress environnementaux en font des indicateurs écotoxicologiques très pertinents. Cependant, les sols constituent des milieux hétérogènes spatialement hiérarchisés en agrégats de différentes tailles et constitués de particules minérales, de matière organique et de microorganismes dont il est important de comprendre le comportement en réponse aux pollutions métalliques. Comme les microorganismes [1], les métaux se répartissent de façon non homogène et spécifique entre les différents micro-compartiments des sols [2]. Il est donc essentiel, afin de mesurer finement l'effet de multi-pollutions métallique sur le fonctionnement biologique des sols, d'utiliser des approches multidisciplinaires abordant à la fois la spéciation chimique des métaux et leur distribution, leur transfert dans le sol et leur impact sur les communautés microbiennes.

### **Méthodologie**

Nous avons développé une approche originale de micro-biogéographie basée sur l'utilisation des nouvelles technologies de séquençage (NGS) corrélée aux données géochimiques de distribution et de spéciation chimique de 3 métaux lourds (Cu, Cr et Cd) ajoutés seuls ou en mélange dans un sol de vigne. Les analyses ont été réalisées sur le sol et sur ses 4 sous-fractions granulométriques (>250 µm, 250-63 µm, 63-20 µm et <20 µm) obtenues par une méthode de fractionnement physique peu destructurant.

### **Résultats**

Après 30 jours d'incubation en microcosmes, la structure du sol n'est pas modifiée par l'ajout des 3 métaux seuls ou en mélange. L'évolution temporelle de la distribution massique des fractions granulométriques est négligeable. Les fractions 63-20 µm (F3) et <20 µm (F4) sont les plus abondantes et représentent chacune environ 40% de la masse totale du sol. Ces fractions correspondent aux micro-agrégats stables du sol. La fraction 250-63 µm (F2) est également agrégée mais de manière moins stable car contenant des sables fins et des débris végétaux. Cette fraction représente environ 9% de la masse du sol total. La fraction la plus grossière (>250 µm, F1) avec une masse d'environ 11% de la masse du sol, peut être considérée comme la fraction macro-agrégée contenant aussi des débris végétaux grossiers. La taille des fractions granulométrique du sol a été vérifiée par granulométrie laser et la composition de chaque fraction a été révélée par microscopie électronique à balayage.

Le sol présente des concentrations totales en Cu (84,1 ppm) et en Cd (5,8 ppm) supérieures à celles fréquemment retrouvées dans les sols agricoles en France (Ademe, INRA 2007). Cette contamination métallique est due à l'apport de Cu sous forme de bouillie bordelaise pour lutter contre le mildiou de la vigne et à l'épandage d'engrais phosphatés enrichis en Cd.

L'analyse des données de séquençage haut-débit révèle un impact augmenté du chrome et du mélange de métaux sur la structure des populations bactériennes à l'échelle des fractions granulométriques (Figure 1). L'ajout de Cu et de Cd seuls n'affectent pas la composition des communautés bactériennes du sol, probablement en lien avec la pollution antérieure du sol au Cu et au Cd qui a pu entraîner une pré-adaptation des bactéries à ces deux toxiques. Par ailleurs, pour chaque condition expérimentale, les plus faibles indices de biodiversité ont été mesurés dans les fractions fines (<20 µm). Ce résultat est corrélé à la forte teneur en métaux dosée dans ces fractions. On remarque également que les fractions grossières > 63 µm (F1 et F2) du sol contaminé au Cu présentent les plus haut indices de biodiversité.

Enfin, chaque sous fraction granulométrique présente une diversité bactérienne spécifique (Figure 1) et confirme des études précédentes basées sur des approches d'empreintes moléculaires.

### Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus à micro-échelle offrent une nouvelle vision de la structure de la communauté bactérienne d'un sol et ouvrent la voie à l'identification de taxons rares qui sont de potentiels nouveaux bio-indicateurs de l'état sanitaire des sols. La forte teneur en métaux dans les fractions fines <20µm suggèrent une exposition augmentée des bactéries de cet habitat aux stress physico-chimiques. Ce micro-compartiment représente donc une cible privilégiée pour l'étude de l'impact d'une pollution sur un sol.

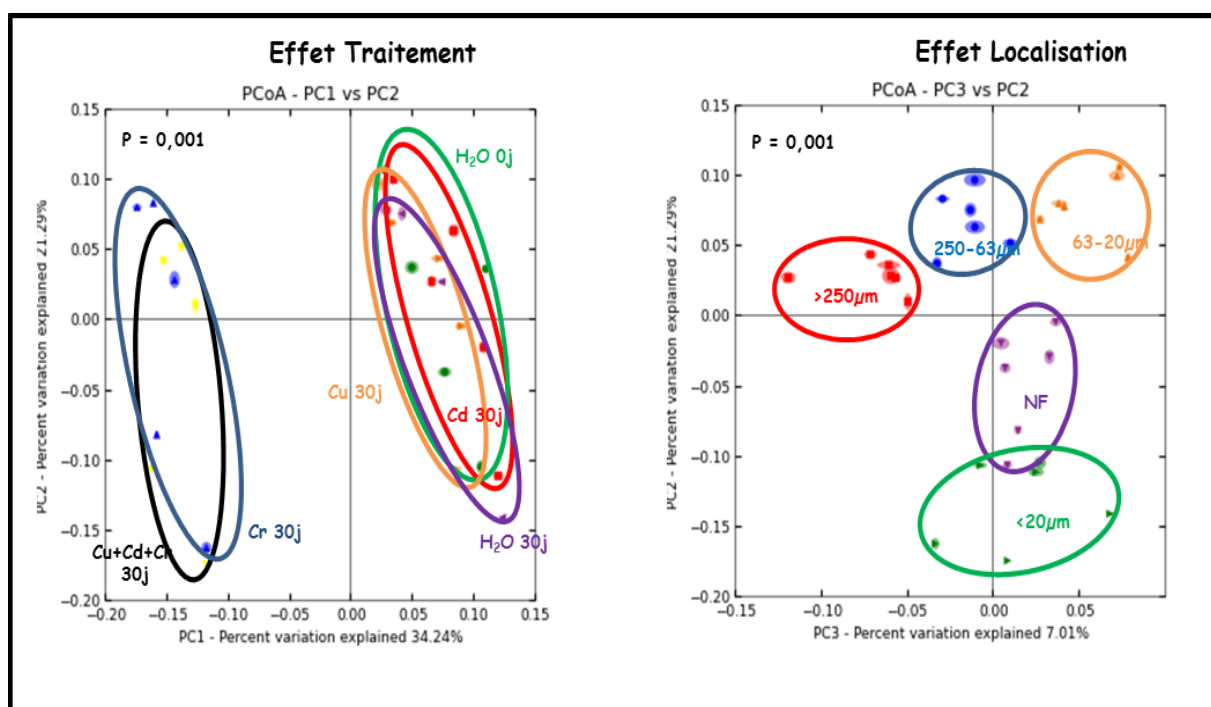


Figure 1. Analyse en Composante Principale (ACP) de la composition des communautés bactériennes des différents microcosmes

## Réponses des communautés bactériennes des tourbières à Sphaignes à un réchauffement climatique à moyen terme

**KARIMI Battle<sup>1</sup>, LERCH Thomas Z.<sup>2</sup>, CHANGEY Frédérique<sup>2</sup>, TOUSSAINT Marie-Laure<sup>1</sup>, BERNARD Nadine<sup>1</sup>, GILBERT Daniel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire Chrono-Environnement, UMR CNRS 6249, UFR Sciences, techniques et gestion de l'industrie, Université de Franche-Comté, F-25211 Montbéliard cedex, France ([karimi.battle@gmail.com](mailto:karimi.battle@gmail.com), [marie-laure.toussaint@univ-fcomte.fr](mailto:marie-laure.toussaint@univ-fcomte.fr), [nadine.bernard@univ-fcomte.fr](mailto:nadine.bernard@univ-fcomte.fr), [daniel.gilbert@univ-fcomte.fr](mailto:daniel.gilbert@univ-fcomte.fr))

<sup>2</sup> Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris (IEES-Paris), Université Paris Est Créteil (UPEC), 61 avenue du Général de Gaulle 94010 Créteil cedex, France ([thomas.lerch@u-pec.fr](mailto:thomas.lerch@u-pec.fr), [frederique.changey@gmail.com](mailto:frederique.changey@gmail.com))

Les risques de changement climatiques induits par les activités anthropiques représentent l'un des challenges scientifiques et politiques de ce début de 21<sup>ème</sup> siècle. Selon les experts, le réchauffement pourrait atteindre, en fonction des scénarios d'émissions, des valeurs de températures moyennes comprises entre 1.4°C et 6.4°C au cours des 100 prochaines années. Jusqu'à présent la sensibilité au réchauffement climatique à long terme des communautés microbiennes des tourbières à sphaignes, un des plus importants stocks de carbone terrestre, a été assez peu étudiée. Pourtant les communautés microbiennes de ces écosystèmes constituent un réseau alimentaire détritique crucial soutenant de nombreux processus écosystémiques et plus particulièrement la dynamique du carbone (Gilbert & Mitchell 2006). Dans ce contexte, il paraît essentiel de connaître les conséquences d'une hausse des températures à plus ou moins long terme sur un des éléments clé des tourbières, les micro-organismes.

L'objectif de notre étude était (i) d'évaluer l'impact d'une augmentation de température sur la structure génétique et la diversité fonctionnelle des bactéries d'une tourbière à Sphaigne et (ii) rechercher les liens entre cette réponse biologique et les facteurs environnementaux, notamment le pH, la quantité et la qualité de la matière organique dissoute.

Depuis 2008, la tourbière du Forbonnet a été choisie comme site d'étude de l'impact du réchauffement climatique, car elle est constituée un site très peu perturbée par les activités anthropiques. Située à Frasne dans le département du Doubs, elle se localise dans le bassin du Dugeon, l'un des sites naturels les plus remarquables de Franche-Comté. La tourbière du Forbonnet se situe à environ 840m d'altitude et est composée d'un bas-marais et d'un haut-marais. Le milieu est très largement colonisé par les sphaignes telles que *S. fallax*, *S. rubellum* et *S. magellanicum*, représentant 70 à 90% du couvert végétal. Sur site, 12 placettes expérimentales ont été mises en place au niveau de la transition bas-marais/haut marais, 6 se situant dans le bas-marais et 6 dans le haut-marais. Chaque côté de la transition se caractérise essentiellement par sa microtopographie, sa végétation et une humidité différente. Sur six placettes, trois ont été recouvertes d'un système expérimental (des Open-Top Chamber) simulant un réchauffement climatique modéré, soit 1,2 degré Celsius en moyenne par rapport au témoin.

Des prélèvements d'eau de tourbières ont été faits en juin 2013, à 20 cm de profondeur pour chacune des placettes. Des extractions d'ADN puis des analyses T-RFLP (Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism) ciblées sur le 16S (Osborn et al., 2000) ont donné accès à la structure génétique des communautés bactériennes. En parallèle, la mesure d'activité par Biolog® Ecoplate (Garland, 1996) a permis d'appréhender la diversité fonctionnelle de la communauté. Afin de lier ces réponses aux paramètres de

l'environnement, des mesures de pH, de conductivité, de carbone organique dissout ont été faites, complétées par une mesure au FT-MIRS (Fourier Transformation - Mid Infra-Red Spectrometer) qui fournit une analyse qualitative de la matière organique.

Les communautés bactériennes se distinguent par leur structure génétique que ça soit entre les parcelles contrôle et réchauffé ou entre les parcelles de haut marais et de bas marais. Cependant la différence est plus marquée dans le haut-marais que dans le bas-marais (Fig. 1). Concernant la diversité fonctionnelle, l'activité maximale de dégradation des différents substrats fournis lors de l'expérience ainsi que la vitesse de dégradation montrent une variabilité significative entre les communautés le long du gradient haut-marais/bas-marais. Le traitement de réchauffement, lui, ne semble avoir un impact que dans le haut-marais, plus sec et avec un couvert végétal vasculaire plus important que dans le bas-marais qui est plus humide et avec un couvert végétal dominé par les sphaignes (Fig2).

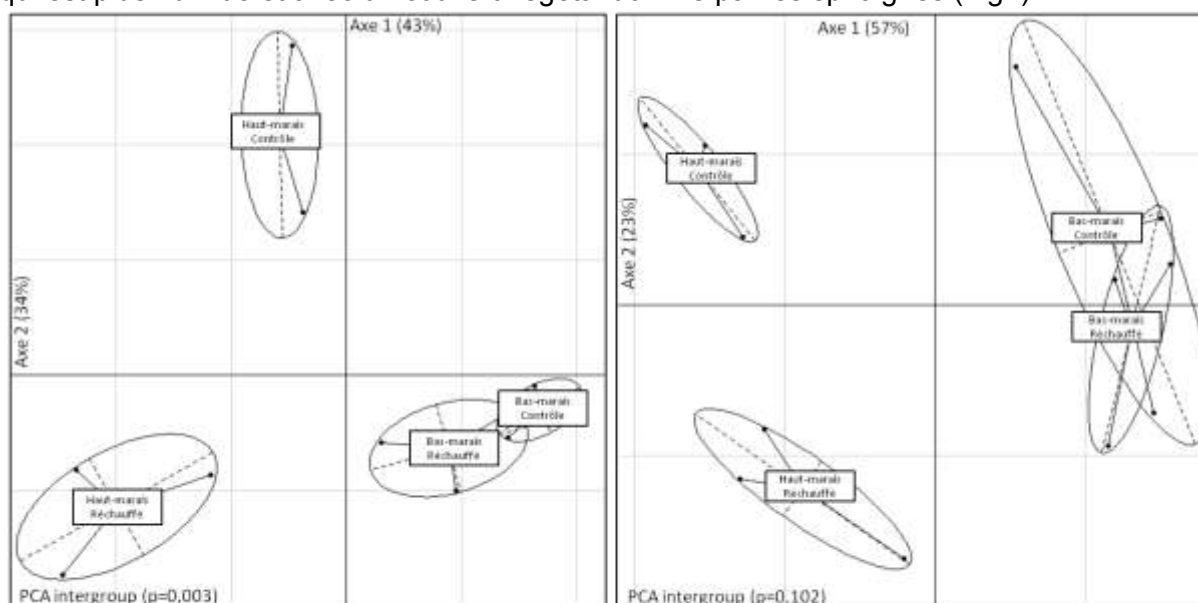


Figure 1: Analyse en composante principale de la composition génétique (TRFLP) des communautés bactériennes dans l'eau des tourbières à Sphaigne

Figure 2: Analyse en composante principale de l'activité métabolique (Biolog) des communautés bactériennes dans l'eau des tourbières à Sphaigne

Ces patterns similaires dans la structure génétique et la réponse fonctionnelle des communautés bactériennes sont liés à la quantité de carbone organique dissout qui montre également une différence significative entre les placettes contrôles et réchauffées dans le haut marais mais pas dans le bas-marais. De même, la qualité de la matière organique présente dans phase aquatique joue un rôle significatif sur les réponses des communautés bactériennes sur le gradient bas-marais/haut-marais. Ainsi, l'ensemble des éléments apportées lors de cette étude semble montrer que le couvert végétal est le moteur des changements dans les communautés bactériennes au niveau de la transition écologique étudiée et que le haut-marais, présentant un couvert de plantes vasculaires plus importants est plus affecté par le réchauffement induit.

### Références bibliographiques

- Gilbert D. et Mitchell E.A.D., 2006, Microbial diversity in Sphagnum peatlands, In: Martini I.P, Matinez Cortizas A., Chesworth W. (eds) Peatlands: basin evolution and depository of records on global environmental and climatic changes, pp 287-318
- Osborn M.A., Moore E.R.B., et Timmis K.N., 2000, An Evolution of terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis for the study of microbial community structure and dynamics. *Environmental Microbiology* 2 (1), 39-50.
- Garland J.L., 1996, Analytical approaches to the characterization of samples of microbial communities using patterns of potential C source utilization, *Soil Biology and Biochemistry*, 28(2) :213-221

## L'OPVT, un projet de science participative national sur les vers de terre.

**HOEFFNER Kevin<sup>1</sup>, HOTTE Hoël<sup>1</sup>, GUERNION Muriel<sup>1</sup>, DELAVEAU Natacha<sup>1</sup>,  
POUPELIN Maxime<sup>1</sup>, PERES Guénola<sup>1,2</sup>, PIRON Denis<sup>1</sup>, CLUZEAU Daniel<sup>1</sup>,**

1. Université de Rennes 1 - UMR CNRS 6553 *EcoBio* – Station Biologique Paimpont (France)
2. AgroCampusOuest - UMR INRA 1069 SAS - Rennes (France) (*adresse actuelle*)

En raison de leur impact sur le fonctionnement des sols et de leur importance dans la fourniture de nombreux services écosystémiques, un intérêt sociétal croissant est observé depuis quelques années pour la biodiversité des sols et notamment concernant les vers de terre. Afin de répondre aux demandes d'outils d'observations et d'évaluation de la qualité microbiologique des sols par différents publics, l'Université de Rennes 1 a développé à partir de 2011 un projet de science participative appelé **Observatoire Participatif des Vers de Terre (OPVT)**. Ce projet a pour **objectifs** (1) de mettre à disposition un **outil d'évaluation** de la biodiversité lombricienne des sols agricoles, naturels et urbains et (2) **d'implémenter une base de données** sur les lombriciens permettant d'établir progressivement différents **référentiels** sur ces macroorganismes du sol.

Pour cela, différents moyens sont proposés afin de s'adapter au mieux aux demandes de publics variés : i) **formations dispensées aux animateurs** de réseaux et futurs observateurs, ii) proposition d'une gamme de **protocoles d'échantillonnages, de simple à complet**, de manière à répondre à la diversité des demandes (agent de développement agricole, gestionnaires de réserves et espaces naturels ou urbains, jardiniers, enseignants tous niveaux, recherche, ...), iii) **un site web** ([www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr](http://www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr)) fournissant de l'information, de la bibliographie, des protocoles, des guides & clé d'identification des vers de terre,... et proposant une saisie en ligne des résultats d'observations par les participants qui en retour peuvent recevoir des fiches synthétiques, du cas par cas à des compilations nationales.

Cet observatoire **participatif joue donc aussi un rôle pédagogique** sur la prise en compte de l'écologie du sol et des moyens à mettre en œuvre pour diminuer les impacts négatifs de certaines pratiques de gestion des sols ; la qualité des référentiels réalisés **progressivement** sera fonction de la qualité du travail des préleveurs et de leurs informations saisies en ligne, d'où la **certification progressive** des participants récurrents. L'OPVT, initialement pensé sur la base du volontariat de groupes locaux a par la suite été utilisé par des réseaux nationaux formels (développement, expérimentation, recherche, surveillance,...). Plus de **2300 parcelles** ont été prospectées à travers le cadre de l'OPVT entre 2011 et 2013. Les détails de cet observatoire national de science participative seront ainsi présentés : adaptation des protocoles d'échantillonnage, outils de formation, résultats et mode de rendus aux utilisateurs ou aux partenaires.

## **Effet des variations saisonnières sur la microflore tellurique des sols oasiens de la cuvette de Ouargla (Sahara algérien)**

**KARABI Mokhtar<sup>1</sup>, HAMDY AISSA Baelhadj<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>: Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, Université de Ouargla- Algérie, [karabi.mokhtar@univ-ouargla.dz](mailto:karabi.mokhtar@univ-ouargla.dz)

<sup>2</sup>: Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, Université de Ouargla- Algérie, [hamdi\\_30@yahoo.fr](mailto:hamdi_30@yahoo.fr)

### **Introduction**

Le sol est un monde vivant actif et son fonctionnement biologique est étroitement dépendant de paramètres climatiques comme la température ou la pluviométrie. L'appréhension à travers le dénombrement des principaux groupes microbiens dans un agrosystème oasien par rapport à deux saisons (l'automne et l'hiver), cas du sol de la palmeraie de Ksar de Ouargla, que nous avons fixé comme objectif, met en exergue l'influence des variations saisonnières sur les communautés microbiennes, susceptibles d'intégrer l'ensemble des conditions environnementales touchant le sol.

### **Matériels et méthodes**

L'étude a été conduite sur le site de la palmeraie du Ksar de Ouargla (Algérie). Il s'agit d'une palmeraie moyennement entretenue de point de vue agronomique. Les techniques culturales appliquées sont l'irrigation par submersion, l'apport de fumier et d'engrais. Le sol est léger à prédominance sableuse et à structure particulière. Il se caractérise par un faible taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin et une bonne aération (Halilat, 1993). Dix échantillons élémentaires de surface (0-30 cm) ont été prélevés sur une superficie de 12ha. Les prélèvements ont ensuite été mélangés pour constituer un échantillon composite représentatif du terrain. Le premier prélèvement a été effectué le mois d'Octobre 2011 et le deuxième le mois de Janvier 2012. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées. Il s'agit de la granulométrie, d'humidité, du pH, de la conductivité électrique, du dosage du carbone et d'azote totaux, de la matière organique, du dosage du calcaire total et du gypse. La densité de la microflore est estimée par la méthode classique de suspension-dilution de sol (Pochon, 1954). L'isolement des microorganismes se fait par l'utilisation des milieux sélectifs appropriés.

### **Résultats et discussions**

Les résultats obtenus montrent que le nombre des microorganismes est légèrement élevé en automne par rapport à l'hiver. Cela est en liaison avec l'accroissement des aliments mis à la disposition des germes par la mort des plantes annuelles et la chute des feuilles. Ainsi, le dénombrement des différents groupes microbiens révèle que les bactéries sont les plus abondantes  $11,6 \times 10^6$  et  $8 \times 10^6$  (germes/gss), suivies par les champignons  $23,9 \times 10^4$  et  $6,5 \times 10^4$  (propagules/gss), puis les actinomycètes  $8 \times 10^4$  et  $6,3 \times 10^4$  (germes/gss), et enfin les algues  $0,7 \times 10^2$  et  $0,3 \times 10^2$  (germes/gss), en automne et en hiver respectivement. Des travaux antérieurs montrent une allure identique des variations de la population microbienne avec un pic automnal très marqué. La diminution de la densité des différents groupes microbiens en hiver (figure 1) est due à une modification d'humidité et de température, et peut être également expliquée par le rapport C/N qui est légèrement bas en automne par rapport à l'hiver (6,14 et 8 respectivement), ce qui traduit une



bonne minéralisation de la matière organique et donc une bonne activité microbienne (Bessediket *al*, 2000).

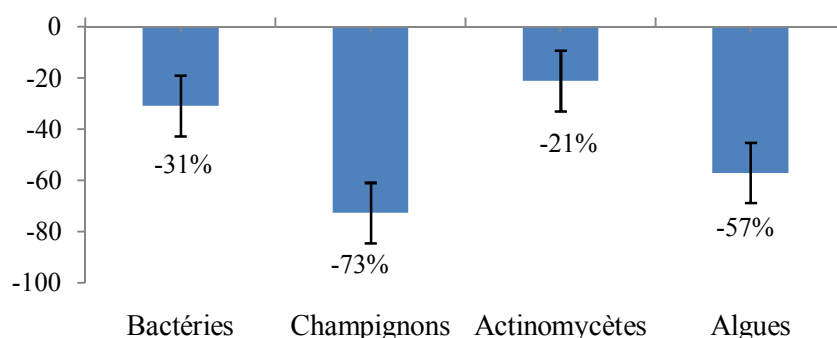


Figure 1. Régression en pourcentage de la densité microbienne en hiver par rapport à l'automne

## Conclusion

L'ensemble des résultats obtenus sur le sol de la palmeraie du Ksar de Ouargla, indique un effet saisonnier sur le développement des micro-organismes, action liée à la température et à l'humidité. Il est clairement constaté que le maximum de l'activité microbienne est situé généralement en automne et que la densité des microorganismes de notre sol est influencée par les conditions climatiques et la nature du sol. Le groupe microbien le plus touché par l'effet des variations saisonnières est celui des champignons suivi par les algues, les bactéries et enfin les actinomycètes. Cela montre que les actinomycètes s'adaptent bien aux changements climatiques contrairement aux autres groupes microbiens. Ces sols, de nature sableuse et pauvre en matière organique, sont caractérisés par des conditions pédoclimatiques favorables à une intense activité biologique en saison automnale. Ces mesures fournissent des renseignements sur les fluctuations de la biomasse microbienne en fonction des saisons d'une part et d'autre part sur les différences considérables entre les teneurs en biomasse de l'horizon superficiel riche en matière organique.

## Références bibliographiques

Bessedik F., Saka H., Moussaoui B., Yakhou S., 2000- *Fusariose du palmier dattier: dénombrement et évaluation des microorganismes des sols de différentes palmeraies du TOUAT indemnes de Bayoud*. Recherche Agronomique, N° 6, pp : 69-75.

Halilat M T., 1993- *Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété aldura) en zones sahariennes (région d'Ouargla)*. Mémoire de Magister, Université de Batna. 130p.

Pochon J., 1954- *Manuel technique d'analyse microbiologique du sol*. Edit, Masson, Paris, 123 p.



## **L'atlas de la Biodiversité des sols et un jeu de 7 familles de la vie cachée des sols**

**CHEVALLIER Tiphaine<sup>1</sup>, GUELLIER Camille<sup>2</sup>, SAPIJANSKAS Jurgis<sup>3</sup>,  
BLANCHART Eric<sup>1</sup>, BISPO Antonio<sup>2</sup>, CHENU Claire<sup>4</sup>, CHIRPAZ Dominique<sup>5</sup>,  
ARROUAYS Dominique<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> IRD, UMR Eco&Sols, Campus SupAgro, Place Viala, Bat. 12, 34060 Montpellier Cedex2  
tiphaine.chevallier@ird.fr, eric.blanchart@ird.fr

<sup>2</sup> ADEME, Service Agriculture et Forêt, 20, Avenue du Grésillé, BP 90406, 49004 Angers  
Cedex 01, camille.guellier@ademe.fr, antonio.bispo@ademe.fr

<sup>3</sup> Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie, CGDD/DRI/SR3, Tour  
Voltaire, 92055 LA DEFENSE Cedex, jurgis.sapijanskas@developpement-durable.gouv.fr

<sup>4</sup> AgroParisTech, Bâtiment EGER, Campus AgroParisTech Grignon, 78850 Thiverval Grignon,  
Claire.Chenu@grignon.inra.fr

<sup>5</sup> Professeure missionnée au Service Educatif de l'IRD 911, avenue Agropolis 34394  
Montpellier Cedex 5 dominique.chirpaz@ird.fr

<sup>6</sup> INRA, Unité InfoSol, 45075, Orléans, France Dominique.Arrouays@orleans.inra.fr

Alors que l'activité des organismes du sol participe notamment à sa fertilité, à la qualité de notre alimentation, à la pureté de l'air et à la qualité de l'eau, la biodiversité des sols est menacée par l'accroissement des pressions liées à l'activité humaine ainsi que par les changements globaux. Elle reste de plus une des composantes les moins connues de la biodiversité.

Quelles formes de vie sont présentes dans le sol ? Qu'entendons-nous par biodiversité du sol ? En quoi l'activité humaine affecte-t-elle les écosystèmes du sol ? L'objectif de ces deux ouvrages est de faire découvrir au plus grand nombre, étudiants, enseignants et scolaires la variété des organismes du sol, leur taille, leurs régimes alimentaires et leur rôle fondamental dans les écosystèmes.

L'Atlas européen de la biodiversité des sols propose de magnifiques photos, des textes attractifs et une première cartographie des 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. La première partie de l'Atlas propose une vue d'ensemble du fonctionnement des sols et souligne l'importance de l'activité des organismes du sol pour la fertilité des sols, la qualité de notre alimentation, la pureté de l'air ou encore la qualité de l'eau. La seconde partie correspond à une encyclopédie de la biodiversité des sols qui reste une des composantes les moins connues de la biodiversité. Abondamment illustrée, cette partie nous invite à découvrir les organismes des sols, des plus petits (ex : bactéries, algues) aux plus grands (ex : taupes), des plus intrigants (tardigrades) aux plus communs (vers de terre), pour mieux en appréhender leur formidable diversité.

Le jeu des 7 familles intitulé *La vie cachée des sols* est destiné à un public plus jeune (8-12 ans). Grâce à 42 photographies commentées et à un livret pédagogique illustré, ce jeu

constitue un support pédagogique et ludique unique permettant de découvrir en s'amusant la diversité et le fonctionnement des organismes des sols mais aussi les scientifiques et les outils ayant permis leur étude. Chaque carte comporte le nom de la famille, du représentant de la famille et des autres membres de la famille (Figure 1). Il comprend également une image, la taille du représentant et une courte phrase sur le régime alimentaire de l'organisme ou une courte phrase pour expliquer l'image. La règle du jeu est connue de tous les enfants, les efforts se porteront ainsi plus sur la lecture et la mémorisation des noms des organismes. Le livret pédagogique qui accompagne le jeu reprend chacune des cartes et permet de comprendre les interactions trophiques ou non trophiques entre les différents organismes et leur milieu. 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.



**Figure 1 Un exemple de 3 cartes de la famille Mésafaune.**

Ces deux ouvrages de sensibilisation et d'éducation à la biodiversité des sols ont été publiés dans le cadre du programme de recherche GESSOL « fonctions environnementales et gestion du patrimoine sol » du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. Ils ont été distribués à l'ensemble des médiathèques des Centres Départementaux de Documentation Pédagogiques afin d'être accessibles par tous et en particulier aux enseignants. Des versions électroniques (notamment une version imprimable) des 2 ouvrages sont disponibles sur le site de GESSOL en téléchargement libre (<http://www.gessol.fr/atlas> et <http://www.gessol.fr/content/le-jeu-de-7-familles-la-vie-cach-e-des-sols>). L'atlas peut également être commandé en version papier sur le site de la Commission Européenne ([http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en\\_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=LBNA24375](http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=LBNA24375)).

## **Effets de différentes pratiques agricoles sur les assemblages de Collemboles.**

**COULIBALY Sékou<sup>1</sup>, AUBERT Michaël<sup>1</sup>, BRUNET Nicolas<sup>2</sup>, BUREAU Fabrice<sup>1</sup>, RECOUS Sylvie<sup>3</sup>, CHAUVAT Matthieu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire d'écologie ECODIV, UFR Sciences et Techniques, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan.

<sup>2</sup> INRA AgrolImpact, Estrées-Mons

<sup>3</sup> INRA, UMR 614 FARE, Reims

La notion de services rendus par les écosystèmes a fortement émergé ces dernières années parmi les équipes travaillant sur le sol. Selon le Millenium Ecosystem Assessment, les services rendus par les écosystèmes sont les bénéfiques que les populations humaines peuvent obtenir à partir des écosystèmes. En se focalisant essentiellement sur les systèmes agricoles, nous sommes parfaitement conscients des bienfaits de l'agriculture pour les humains à travers des services d'approvisionnement tels que production de nourriture, de fibre etc. Cependant, ces services dépendent tous du maintien et de la protection des sols. Dans le cadre du projet ANR SOFIA (Agrosystèmes et biodiversité fonctionnelle des Sols ; 2012-2015) visant à étudier la hiérarchie des acteurs de la biodégradation des ressources trophiques et son déterminisme sur la dynamique des matières organiques des sols, notre étude se propose d'évaluer l'impact de différentes pratiques agricoles sur les Collemboles. Ces derniers représentent un des groupes majeurs de la biodiversité fonctionnelle du sol et *in fine* une composante importante de régulation des flux et transferts de C et N.

Les parcelles expérimentales font partie du dispositif du Système d'Observation et d'Expérimentations au long terme pour la Recherche en Environnement (SOERE) «Agroécosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité» situé à Estrées-Mons dans la Somme et géré par l'INRA de Mons. Les traitements retenus (Tab. 1) privilégient différents facteurs agronomiques : type de couvert (rotation de cultures annuelles vs. culture pérenne), gestion des résidus de récolte des végétaux (exportés vs. restitués), fertilisation azotée (doses raisonnées sur la base de la méthode du bilan N minéral vs. réduction significative de la fertilisation azotée), travail du sol (labour profond vs. travail superficiel vs. non labour). Ces différents facteurs influencent fortement la quantité, la qualité et la localisation horizontale et verticale des ressources trophiques, des communautés édaphiques mais aussi leurs habitats. Les Collemboles ont été échantillonnés sur les 24 parcelles (6 traitements \* 4 répétitions) de 2010 à 2014 au moyen de carottes de sol de 5cm de diamètre et de 5cm de profondeur puis extraits par la méthode de Berlese-Tullgren. Les Collemboles ont été dénombrés et déterminés à l'espèce.

Les premiers résultats montrent une diminution de la richesse spécifique moyenne sous labour classique par rapport au travail superficiel du sol ainsi qu'une augmentation de la proportion d'espèces euédaphiques (stratégie K). Les modifications fonctionnelles des assemblages de Collemboles reflètent la diversité des pratiques agronomiques testées. Toutefois la variabilité d'abondance inter-annuelle semble plus importante que la variabilité entre traitements pour une même année.

**Tableau 1** : Caractéristiques des différents traitements retenus dans la cadre du projet SOFIA. Chaque traitement est appliqué sur 4 parcelles. Les 24 parcelles sont randomisées en 4 blocs. N : amendement en Azote ; CI : Culture intermédiaire.

Traitement	Rotation	Travail du sol	Résidus et fertilisation	N	CI
Labour (T1)	Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Labour	Restitution des résidus	N	Non légumineuse
Travail Superficiel (T2)	Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Travail superficiel	Restitution des résidus	N	Non légumineuse
Travail Superficiel & Valorisation des Résidus (T3)	Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Travail superficiel	Exportation des résidus	N	Non légumineuse
Bas Intrants Azotés (T4)	Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Labour	Restitution des résidus	N-	Non légumineuse
Intensification Ecologique (T5)	Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Labour	Restitution des résidus	N-	Légumineuse
Intégration de cultures dédiées à la Biomasse (T6)	Switchgrass 6 ans / Pois, Colza, Blé, Orge, Mais, Blé	Labour occasionnel	Exportation des résidus	N	Non légumineuse

## Expertise comparative de la mésofaune du site de la grotte de Lascaux.

De Danieli, S. <sup>1\*</sup>; Perez, G. <sup>1,2\*</sup>; Heiniger, C. <sup>1</sup>; Pretet, B. <sup>3</sup>; Brun, J.J. <sup>1</sup>; Perrette, Y. <sup>3</sup>; Poulenard, J. <sup>3</sup>; Cécillon, L. <sup>1\*</sup>

1 : IRSTEA, UR EMGR Ecosystèmes montagnards, 2 rue de la Papeterie-BP 76, F-38402 Saint-Martin-d'Hères, France, \*sebastien.de-danieli@irstea.fr & lauric.cecillon@irstea.fr

2 : IRSTEA, UR EFNO Ecosystèmes forestiers, Centre de Nogent-sur-Vernisson, Domaine des Barre, 45290 Nogent-Sur-Vernisson, France, \*gabriel.perez@irstea.fr

3 : EDYTEM Université de Savoie, UMR 5204 du CNRS, bâtiment Pôle Montagne, 73376 Le Bourget du lac cedex

La grotte de Lascaux, située sur la commune de Montignac (région Dordogne, France) est un site classé et inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco. Cette grotte ornée de peintures et de gravures du paléolithiques fait aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches et ce, notamment depuis l'avènement de « crises » fongiques menaçant la pérennité des peintures.

Découverte en 1940, la grotte a connu une exploitation touristique grandissante pendant près de 20 ans. Au milieu des années 50, l'apparition de premiers signes d'altération des ornements a été constatée (tâche blanche de *Fusarium solani*), avec le début d'une succession de développement de foyers fongiques et bactériens variés. Dans un souci de conservation du site et pour tenter de contrer ces phénomènes, différents traitements chimiques à répétitions ont alors été employés, mais de nouvelles souches plus résistantes firent leur apparition (*Scolecobasidium tshawytschae*), traduisant un profond déséquilibre de cet écosystème souterrain (Bastian & al., 2010). Malgré la fermeture de la grotte au public depuis les années 60, les altérations microbiennes des ornements perdurent. Depuis quelques années, l'apparition de foyers de population de collemboles au niveau des altérations microbiennes pose question quant à la consommation des champignons mais également à leur dispersion sur d'autres ornements. Dans ce contexte particulièrement sensible, le conseil scientifique chargé de la conservation du site pilote plusieurs programmes de recherche pour améliorer les connaissances du fonctionnement de la grotte et tenter de rétablir l'équilibre de celle-ci.

L'expertise présentée ici constitue le volet biologie du sol (mésofaune) d'une étude pédologique complète visant à évaluer les potentiels de transfert de matière et d'organismes vivants entre l'extérieur et l'intérieur de la grotte de Lascaux. Concernant le volet mésofaune, deux objectifs nous ont été fixés par le conseil scientifique de la grotte de Lascaux : (i) identifier les espèces de collemboles présentes dans la grotte et (ii) évaluer les communautés d'arthropodes (acariens et collemboles) présentes dans les sols aux abords de la grotte.

Les communautés de mésofaune du sol ont été échantillonnées à l'intérieur de la grotte en deux endroits, et dans les sols situés en amont, à l'entrée, à l'aplomb, et en aval de la grotte, en 23 points de prélèvements tirés aléatoirement sur l'ensemble du site, constitué d'un milieu forestier ouvert, composé majoritairement de Chêne pédonculé, de Pin Sylvestre et de Châtaignier. Sur chacun des points, l'extraction d'un cylindre de sol superficiel incluant la litière (0-5 cm ; 250 cm<sup>3</sup>) a été réalisée, stocké à 4°C, puis transporté au laboratoire pour une extraction des communautés épigées et héli-édaphiques de la mésofaune du sol selon la méthode de Berlese-Tullgren (norme ISO 23611-2). Après extraction, les abondances des populations d'acariens et de collembolés ont été réalisées pour chacun des points de prélèvements et une identification spécifique des collembolés présents a été également effectuée.

Les résultats obtenus montrent la présence de deux espèces de collembolés à l'intérieur de la grotte de Lascaux : *Folsomia candida* et *Heteromurus nitidus*. Ces deux espèces n'ont été retrouvées dans aucun des 23 échantillons de sol prélevés aux abords de la grotte. A l'extérieur de la grotte, l'abondance des communautés d'arthropodes (acariens et collembolés) présente une distribution spatiale relativement hétérogène sur l'ensemble du site. Les abondances plus marquées sont rencontrées au niveau des points montrant un couvert forestier plus fermé. Il est à noter qu'aucune concentration anormale aux abords des entrées potentielles de la grotte (entrée principale et système de ventilation) n'a été détectée..

Cette expertise a permis de caractériser la diversité des espèces de collembolés présents à l'intérieur de la grotte de Lascaux, ainsi que la mésofaune des sols situés en amont, à l'aplomb et à l'aval de la grotte. Parmi les 23 sols échantillonnés, notre étude n'a identifié aucun foyer abritant les deux espèces de collembolés présentes à l'intérieur de la grotte, y compris à proximité immédiate de l'entrée et des aérations qui représentent des issues facilement exploitables pour des migrations de populations. L'approche descriptive classique de la mésofaune utilisée dans cette expertise (avec prélèvement à une seule saison) mériterait d'être validée par une méthode plus intégrative de metabarcoding de l'ADN environnemental. Cette méthode pourrait permettre d'identifier des espèces additionnelles sur le site (à l'extérieur comme à l'intérieur de la grotte) et de s'affranchir ainsi d'éventuels biais liés à la saisonnalité de la présence de certaines espèces de collembolés.

## References

F. Bastian, V. Jurado, A. Novàková, C. Alabouvette & C. Saiz-Jimenez (2010). The microbiology of Lascaux cave. *Microbiology*. 156, 644-652.

Norme NF ISO 23611-2 (2006) Prélèvement des invertébrés du sol. Partie 2 : prélèvement et extraction des microarthropodes (Collembola et Acarina). *AFNOR*.

## **Diversité et structure des communautés de collembole en peuplement forestier pur et mélangé : étude de deux cas.**

**HEINIGER Charlene<sup>1,\*</sup>, PEREZ Gabriel<sup>1,2,\*</sup>, CECILLON Lauric<sup>1</sup>, BRUN Jean-Jacques<sup>1</sup>, DE DANIELI Sébastien<sup>1</sup>, KORBOULEWSKY Nathalie<sup>2</sup>.**

1 : IRSTEA, UR EMGR Ecosystèmes montagnards, 2 rue de la Papeterie-BP 76, F-38402 Saint-Martin-d'Hères, France

2 : IRSTEA, UR EFNO Ecosystèmes forestiers, Centre de Nogent-sur-Vernisson, Domaine des Barre, 45290 Nogent-Sur-Vernisson, France

\* : [charlene.heiniger@gmail.com](mailto:charlene.heiniger@gmail.com); [gabriel.perez@irstea.fr](mailto:gabriel.perez@irstea.fr)

### **Diversité et structure des communautés de collembole en peuplement forestier pur et mélangé : étude de deux cas.**

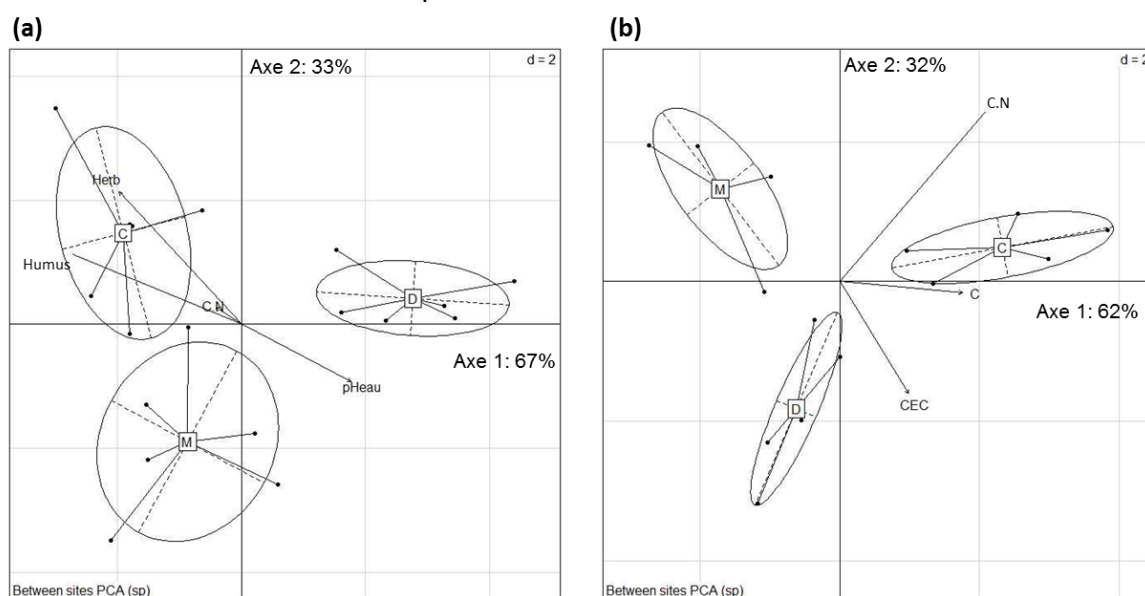
Augmenter la diversité des espèces forestières est aujourd'hui un des scénarios envisagés pour adapter la gestion sylvicole face aux changements climatiques et à l'augmentation des besoins en bois et des autres services écologiques rendus par la forêt aux sociétés humaines. En France, sur 15,1 millions d'hectares de surface forestière, 6,3 millions sont composés de peuplements à deux ou trois essences. Un des avantages avancés des peuplements mélangés, serait que ces derniers renfermeraient une plus grande diversité spécifique. Il a été montré qu'une plus grande diversité en arbre favorise l'apparition de différents microhabitats qui peuvent abriter différentes espèces végétales de sous-bois. Néanmoins, très peu d'études ont porté sur la diversité de la faune du sol dans les peuplements mélangés. Bien que certaines études mettent en évidence une réponse positive du mélange sur la biodiversité ou l'abondance de la faune du sol, d'autres montrent un effet peu marqué. De manière générale, l'effet des peuplements forestiers plurispécifiques face aux monospécifiques apparaît comme fortement idiosyncratique ainsi que très dépendant du groupe de faune du sol étudié. De plus, il est important de relever que beaucoup d'études de ce type portent sur des effets de conversion forestière ou bien d'autres dispositifs qui ne permettent pas de statuer sur l'effet du mélange car toutes les modalités de peuplements purs et mixtes ne sont pas observées.

Au travers ce constat, il est important de renforcer nos connaissances sur l'effet des peuplements mélangés sur la biodiversité et la structure des communautés de faune du sol qui sont des acteurs majeurs de la décomposition et interviennent fortement dans la régulation des cycles biogéochimiques de ces écosystèmes. Ainsi, cette étude vise à déterminer l'impact de la sylviculture en mélange sur la biodiversité des sols. Plus spécifiquement, nous avons étudié l'impact de la sylviculture en mélange en comparant des peuplements mélangés à des peuplements purs sur la diversité biologique des sols et plus spécifiquement sur les microarthropodes, en particulier les collemboles.

Nous avons étudié deux massifs forestiers, un site de montagne et un de plaine, situés sur le massif de Belledonne (Isère) et en forêt d'Orléans (Centre), respectivement. Sur ces deux sites, trois compositions du peuplement ont été sélectionnés, à savoir deux peuplements purs (un feuillu et un résineux) et un peuplement mixte (mélange feuillu-résineux), avec 5 et 6 réplicats, pour Belledonne et Orléans, respectivement. Pour le site de montagne, les peuplements sont composés par du hêtre (*Fagus sylvatica*) et/ou du sapin (*Abies alba*). Pour le site de plaine, les peuplements sont constitués par du chêne (*Quercus petraea*) et/ou du pin (*Pinus sylvestris*). L'échantillonnage de microarthropodes a été réalisé en novembre 2013 pour les deux sites par carottage ( $\varnothing$  : 4,3 cm, 7 cm de profondeur) puis extraction par gradient de chaleur (Berlèse) pendant 8 jours. Les collemboles ont été identifiés à l'espèce. Parallèlement, plusieurs paramètres ont été mesurés tels que l'humidité du sol, le pH, le C/N, la CEC et les formes d'humus.

Au total, 1490 individus ont été identifiés, appartenant à 41 espèces différentes. De manière générale, au regard des deux sites, l'abondance et la diversité des communautés

de collemboles différent selon le type de peuplement. L'abondance et la richesse spécifique sont supérieures dans les peuplements de feuillus purs, 22 203 ind.m<sup>-2</sup> et 10,27 espèces, en comparaison aux peuplements purs de résineux, 9 677 ind.m<sup>-2</sup> et 6,54 espèces, respectivement. Les peuplements mélangés présentent des valeurs intermédiaires aux deux autres peuplements avec environ 14 782 ind.m<sup>-2</sup> et 8,36 espèces. Comme attendu, l'analyse multivariée (BGA : between group analysis) des communautés de collemboles révèle que la réponse de ces communautés dans les peuplements mélangés diffère entre les deux sites. En effet, pour le site de plaine, les peuplements mélangés montrent une structure plus proche des peuplements résineux que celle des peuplements de feuillus ( $p$  simulée : 0,001; Fig. 1a). Bien que les différences soient nettement moins marquées en montagne ( $p$  simulée : 0,055; Fig. 1b), les communautés de collembole dans les peuplements mélangés semblent à l'inverse plus proches des communautés des peuplements de feuillus. Par l'intermédiaire d'une régression PLS (partial least square regression), nous avons présélectionné des variables explicatives pour chaque site que nous avons inséré de manière passive dans la BGA de chaque site (Figure 1). Il apparaît que les communautés de collemboles ne sont pas prédites par les mêmes facteurs environnementaux pour les deux sites. Ainsi, seulement le C/N apparaît en commun comme facteur explicatif de la variabilité des communautés des microarthropodes.



**Figure 1:** BGA (Between-group analysis) des communautés de collemboles sur les deux sites, (a) site de plaine (Orléans) (Variance expliquée : 0,19, Randtest : valeur de  $p$  simulée : 0,001) ; (b) site de montagne (massif de Belledonne) (Variance expliquée : 0,17, Randtest : valeur de  $p$  simulée : 0,055). C: résineux; M: mixtes; D: feuillus ; Herb : recouvrement herbacé ; Humus : humus index ; CEC : capacité d'échange cationique ; C : carbone total ; C.N. : rapport C/N.

Nous pouvons conclure que les peuplements mélangés ne soutiennent pas une diversité ou une abondance plus importante que les peuplements de feuillus quel que soit le site étudié. Toutefois, ils présentent toujours des valeurs intermédiaires aux deux peuplements purs, que ce soit pour l'abondance ou la diversité des collemboles. De plus, il apparaît évident que les facteurs de contrôle en fonction des sites ne sont pas les mêmes. Pour aller plus loin, il serait intéressant d'analyser les fonctions assurées par les organismes du sol dans les différents peuplements afin de prédire si les peuplements mélangés peuvent soutenir plus de services écosystémiques que les peuplements purs tels que la décomposition et le recyclage du carbone. Enfin, une étude comprenant plus de deux sites, placés sur un gradient climatique permettrait de découpler l'effet du mélange et des facteurs climatiques.



## **Influence du tassement sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes d'un sol forestier**

**DRESCHER Jan-Ingo<sup>1</sup>, ZELLER Bernd<sup>2</sup>, PANDO Anne<sup>1</sup>, GIGON Agnès<sup>1</sup>,  
RANGER Jacques<sup>2</sup>, EPRON Daniel<sup>3</sup>, LERCH Thomas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: UMR 7618, Institut d'Ecologie et des Sciences Environnementales de Paris (IEES-Paris), équipe BIODIS, Université Paris Est Créteil (UPEC), 94010 Créteil ; j-drescher@gmx.de , thomas.lerch@u-pec.fr, anne.pando@ird.fr , gigon@u-pec.fr

<sup>2</sup>: UR 1138 Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Route d'Amance, 54280 Champenoux ; zeller@nancy.inra.fr , ranger@nancy.inra.fr

<sup>3</sup>: UMR 1137, Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), équipe ARBECO, Université de Lorraine (UL), Route d'Amance, 54280 Champenoux ; daniel.epron@univ-lorraine.fr

Une augmentation des prélèvements de biomasse ligneuse en forêt est nécessaire pour satisfaire la demande en bois énergie comme substitut à l'utilisation des énergies fossiles. Les prélèvements de biomasse contribuent ainsi à la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre dans un contexte d'indépendance énergétique et de diversification de l'offre énergétique en faveur des énergies renouvelables. Cette intensification de la sylviculture se traduira par un raccourcissement de durée des rotations et par un accroissement de la surface des coupes conduisant à une mécanisation accrue de la récolte et à une augmentation de la fréquence de cette intervention sylvicole. La circulation des engins sur les parcelles entraîne une dégradation de la qualité des sols, physique d'abord puis par voie de conséquence, de leur qualité biologique et chimique.

L'application d'une contrainte mécanique se traduit par une déformation du sol, principalement une compaction induisant un tassement, qui affecte en priorité la macroporosité et par conséquent, le transfert de l'eau et des gaz (Musy & Soutter 1991). La dégradation de la macroporosité conduit à une hypoxie voire à une anoxie, ainsi qu'à des phases d'engorgement plus ou moins longues, affectant potentiellement tout le fonctionnement du sol, en particulier celui des communautés microbiennes qui produisent du CO<sub>2</sub> (respiration) ou qui produisent ou consomment du CH<sub>4</sub> (méthanogenèse et méthanotrophie). Le projet EMEFOR (REACTIF, ADEME) vise à étudier l'impact du tassement d'un sol forestier (couche limono-argileuse de 50 cm d'épaisseur reposant sur un substrat argileux) sur les processus microbiens responsables des émissions de ces gaz à effet de serre.

Le projet repose sur le site pilote instrumenté d'Azerailles (54), mis en place en 2007 par l'Inra dans le cadre du programme GESSOL DST, avec l'appui financier de l'ONF et qui est labellisé dans le SOERE F-ORE-T (Fonctionnement des écosystèmes forestiers). Sur ce site, la compaction liée à la circulation d'un porteur forestier a entraîné une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère du sol malgré une diminution de l'efflux donc de la production, et une diminution de la concentration en O<sub>2</sub> (Goutal et al. 2012). Ces résultats traduisent donc une forte réduction du coefficient de diffusivité initiale des gaz, puis une réduction de la production issue de l'activité biologique. En juillet 2014, une campagne de terrain a été menée afin de mettre en relation ces caractéristiques physiques au fonctionnement microbien. Des échantillons issus des parcelles tassées ou non (témoin) ont été prélevés jusqu'à une profondeur de 20 cm sur 3 blocs, avec 8 réplicats par bloc.

Au laboratoire, des incubations ont été menées pour mesurer la respiration basale des échantillons (<2mm, 25°C, 80% Capacité de rétention) pendant 6 mois. Des profils cataboliques ont été réalisés par la méthode MicroResp™ (Campbell et al., 2003). Les abondances et les profils génétiques des bactéries, champignons et archées ont été étudiées par qPCR (Fierer et al., 2005) et T-RFLP (Osborn et al., 2000). Sur les mêmes échantillons, la composition de la Matière Organique (MO) du sol a été analysée par spectrométrie infra-rouge (Cecillon et al., 2009). Les incubations menées au laboratoire montrent que le tassement n'a pas d'effet sur la respiration des échantillons tamisés, ce qui suggère l'importance de la structure physique dans les émissions de CO<sub>2</sub> du sol (Salomé et al., 2010). Cependant, l'analyse des profils cataboliques indiquent des différences significatives entre les parcelles tassées ou non, notamment sur 2 blocs. Ceci pourrait être dû aux différences de végétation observées sur le terrain. Les analyses infra-rouge ont effectivement confirmé des compositions différentes entre les traitements pour ces 2 blocs. Les analyses de biologie moléculaire actuellement en cours permettront d'ici peu de caractériser plus finement les changements structurels au sein de ces communautés microbiennes.

### Références bibliographiques :

- Campbell et al. (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied and Environmental Microbiology* 69 3593-3599.
- Cécillon et al. (2009) Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *European Journal of Soil Sciences* 60: 770-784
- Fierer et al. (2005). Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR assays. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 4117-4120.
- Goutal et al. (2012) Soil CO<sub>2</sub> concentration and efflux as affected by heavy traffic in forest in northeast France. *European Journal of Soil Sciences* 63: 261-271.
- Osborn et al. (2000). An evaluation of terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis for the study of microbial community structure and dynamics. *Environmental Microbiology* 2, 39-50.
- Salomé et al. (2010) Carbon dynamics in topsoil and in subsoil may be controlled by different regulatory mechanisms. *Global Change Biology* 16, 416-426

## **Effet de la qualité de la matière organique du sol sur l'abondance et la structure des communautés microbiennes: importance de la méthode d'extraction de l'ADN**

**CHANGEY Frederique<sup>1</sup>, BLAUD Aimeric<sup>2</sup>, HERRMANN Anke<sup>3</sup>, LERCH Thomas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: UMR 7618, Institut d'Ecologie et des Sciences Environnementales de Paris (IEES-Paris), équipe BIODIS, Université Paris Est Créteil (UPEC), 94010 Créteil ; frederique.changey@u-pec.fr, thomas.lerch@u-pec.fr

<sup>2</sup>: University of Sheffield, Department of Civil and structural Engineering, S3 7HQ United Kingdom; a.blaud@sheffield.ac.uk

<sup>3</sup>: Department of Soil Sciences, Division of Soil Fertility and Plant Nutrition, Swedish University of Agricultural Sciences, Box 7014, S-75007 Uppsala, Sweden; anke.herrmann@slu.se

La grande majorité des micro-organismes du sol demeurent incultivables en laboratoire (Torsvik et Ovreas, 2002) et ne peuvent être appréhendés que par les techniques moléculaires d'analyse de leurs acides nucléiques. L'extraction de l'ADN du sol constitue donc une étape préliminaire clef dans l'étude génétique des communautés microbiennes. Elle consiste en une lyse cellulaire physico-chimique *in situ*, suivie d'étapes de purification dont le nombre et la durée varient selon les méthodes. Malgré l'évolution des protocoles et les efforts de normalisation, l'extraction d'ADN constitue la première et probablement la plus grande origine d'apparition de biais méthodologiques responsables d'artefacts qualitatifs et quantitatifs dans l'étude des micro-organismes (Martin-Laurent et al., 2006, Terrat et al., 2012). Ces biais sont d'autant plus importants dans les systèmes édaphiques et ce en raison des caractéristiques physico-chimiques complexes qui caractérisent ces écosystèmes.

Plusieurs de ces paramètres sont susceptibles de modifier quantitativement ou qualitativement l'efficacité du protocole d'extraction. En effet, l'intensité des phénomènes d'adhésion des micro-organismes aux particules du sol varient en fonction des groupes et peuvent engendrer des différentiels d'efficacité d'extraction à l'origine d'infidélité entre les résultats obtenus et la réelle composition phylogénétique du sol. L'extraction d'ADN extracellulaire fixée sur des éléments colloïdaux du sol, issus de cellules mortes constitue également un biais dont la conséquence est la surestimation de la biomasse. Son corollaire qui est la fixation de l'ADN après la lyse sur ces mêmes colloïdes induit quant à elle, une sous-estimation. De plus la présence dans le sol de molécules organiques complexes tels que les acides humiques ou fulviques, dont la spéciation et la concentration varient selon les types de sols, génèrent d'autres formes de biais dans la mesure où ils risquent d'interférer négativement avec les enzymes des expérimentations d'amplification de l'ADN (T-RFLP, qPCR) (Tebbe et Wahjen, 1993). Dans ce travail, nous avons voulu tester l'importance que ces biais méthodologiques pouvaient avoir sur l'interprétation de l'effet de la qualité de la matière organique du sol sur l'abondance et la structure des communautés microbiennes.

Notre étude a porté sur la comparaison de trois méthodes d'extraction dont 2 kits commerciaux (MO BIO PowerSoil® DNA Isolation Kit et MP FastDNA™ Spin Kit for Soil) et la norme ISO 11093. Les échantillons de sols proviennent du site expérimental longue

durée d'Ultuna (Uppsala, Suède), mis en place en 1956. Le sol a été en usage agricole depuis au moins 300 ans et cultivé avec du maïs depuis le début de l'expérimentation. C'est un luvisol avec 37% d'argile, 41% de limon et 22% de sable. Les différents types d'amendements organiques (correspondant à 8 T/ha tous les 2 ans) sont menés dans des placettes de 2m x 2m et sont comparés au sol nu, non fertilisé ou fertilisé avec du  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques de chaque traitement. Chaque type de sol à été échantillonné en 4 réplicats.

Traitements	C organique ( $\text{mg.g}^{-1}$ sol)	N total ( $\text{mg.g}^{-1}$ sol)	C/N	pH (Eau)
Sol nu	9.8 ± 0.4	1.06 ± 0.04	9.2 ± 0.1	6.1 ± 0.2
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	14.0 ± 0.6	1.45 ± 0.04	9.6 ± 0.1	6.7 ± 0.1
Fumier	23.0 ± 0.4	2.27 ± 0.01	10.1 ± 0.1	6.5 ± 0.2
Déchets verts	16.9 ± 0.3	1.73 ± 0.03	9.8 ± 0.1	6.1 ± 0.1
Tourbe	38.2 ± 2.3	2.07 ± 0.04	18.5 ± 0.7	6.1 ± 0.1
Sciure de bois	20.9 ± 2.2	1.49 ± 0.10	14.0 ± 0.7	6.3 ± 0.2
Boues STEP	28.6 ± 0.9	3.08 ± 0.09	9.3 ± 0.03	4.9 ± 0.1
Non fertilisé	11.1 ± 0.2	1.18 ± 0.02	9.4 ± 0.2	6.2 ± 0.1

**Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques de chaque traitement**

L'analyse génétique des communautés microbiennes a été réalisée en ciblant les gènes 16S (bactéries et archées) et ITS (champignons). L'abondance de chaque groupes microbien a été évaluée par qPCR (Fierer et al., 2005) et la structure par T-RFLP (Osborn et al., 2000). L'originalité de cette approche réside dans le choix des sols sur lesquels l'extraction d'ADN a été réalisée. Les résultats indiquent d'une part une efficacité d'extraction d'ADN (visualisé grâce au dosage d'ADN totale) très significativement différente en fonction des protocoles. Ces différences de biomasse sont corroborées par les résultats de qPCR. La biomasse quantifiée est également positivement corrélée avec la quantité de matière organique des sols. Les résultats issus de l'analyse T-RFLP suggère que la quantité et la qualité de matières organiques apportés au sol modifient la structure des communautés microbiennes. Cependant, l'interprétation de ces effets varie fortement en fonction de la méthode d'extraction utilisée

### Références bibliographiques :

- Aakra et al. (2000) Surface Attachment of Ammonia-Oxidizing Bacteria in Soil, *Microbial Ecology* 39, 222-235.
- Fierer et al. (2005). Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR assays. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 4117–4120.
- Martin-Laurent et al. (2001) DNA Extraction from Soils: Old Bias for New Microbial Diversity Analysis Methods, *Applied and Environmental Microbiology* 67, 2354-2359.
- Osborn et al. (2000). An evaluation of terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis for the study of microbial community structure and dynamics. *Environmental Microbiology* 2, 39–50.
- Petric et al. (2011). Inter-laboratory evaluation of the ISO standard 11063 "Soil quality — Method to directly extract DNA from soil samples". *Journal of Microbiological Methods* 84, 454–460.
- Priemé et al. (1996) Extraction of methane-oxidizing bacteria from soil particles, *FEMS Microbiology Ecology* 21, 59-68.
- Tebbe et Vahjen (1993) Interference of humic acids and DNA extracted directly from soil in detection and transformation of recombinant DNA from bacteria and a yeast, *Applied and Environmental Microbiology* 59, 2657-2665.
- Terrat et al. (2012) Molecular biomass and MetaTaxogenomic assessment of soil microbial communities as influenced by soil DNA extraction procedure, *Microbial Biotechnology* 5, 135-141.
- Torsvik, V., and Øvreås, L. (2002) Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems, *Current Opinion in Microbiology* 5, 240-245.

## **Evolution temporelle de la qualité du sol sous des taillis à très courte rotation de saules, comparée aux sols sous forêt alluviale, bandes enherbées et culture annuelle.**

**STAUFFER Marie<sup>12</sup>, LEYVAL Corinne<sup>1</sup>, BRUN Jean-Jacques<sup>3</sup>, BERTHELIN Jacques<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Université de Lorraine, LIEC-CNRS, Faculté des Sciences et Technologie, BP 70239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France, marie.stauffer@univ-lorraine.fr, corinne.leyval@univ-lorraine.fr, jacques.berthelin@univ-lorraine.fr

<sup>2</sup>KINOMÉ, 8 Rue de Valmy, 93000 Montreuil sous Bois, France

<sup>3</sup>UR EMGR, IRSTEA, BP 76, 38402 Saint Martin D'Hères Cedex, France, Jean-Jacques.Brun@irstea.fr

### **Evolution temporelle de la qualité du sol sous des taillis à très courte rotation de saules, comparée aux sols sous forêt alluviale, bandes enherbées et culture annuelle.**

Les taillis à très courte rotation (TTCR) de saules sont des cultures de biomasse à but énergétique. Les récoltes successives, tous les trois ans pendant vingt ans, sont susceptibles d'exporter d'importantes quantités de nutriments du sol et d'affecter son fonctionnement. Malgré les nombreuses études concernant l'impact d'une conversion d'agrosystème conventionnel en TTCR, très peu de travaux ont tenté de lier les paramètres chimiques avec le fonctionnement biologique du sol. Par ailleurs, les références et les retours de l'impact de cette culture sur les communautés biologiques sont vraiment limités.

L'objectif du présent projet est d'évaluer l'impact de la culture de TTCR de saules sur le fonctionnement de ce système sol-plante en considérant des paramètres impliqués dans la fertilité du sol, l'activité biologique et la fonction d'habitat pour les communautés biologiques. Des indices de qualité du sol reflétant ces trois propriétés fondamentales ont été calculées à partir des paramètres discriminants les usages du sol, dont les valeurs ont été normalisées puis pondérées). Différentes parcelles plantées en TTCR de saules ont été comparées avec celles de bandes enherbées voisines, d'une culture annuelle et d'une forêt alluviale, toutes localisées dans la vallée de l'Aisne (département des Ardennes) sur des fluvisols calcaires. Quatre prélèvements successifs de sols ont été effectués sur chaque parcelle entre 2010 et 2012, aux automnes et aux printemps.

Plusieurs paramètres impliqués dans la fertilité du sol (humidité du sol, calcium et magnésium échangeables et capacité d'échange cationique) avaient des valeurs supérieures dans les parcelles de TTCR par rapport à l'agrosystème, mais l'azote total était inférieur. Les indices de fertilité calculés dans les TTCR sont supérieurs par rapport à celui de l'agrosystème classique. Cet indice reste, en revanche, inférieur dans les TTCR par rapport à la bande enherbée ou la forêt. Une augmentation du recyclage des matières organiques a été observée par rapport à l'agrosystème classique, confirmée par une hausse de la respiration basale et des groupes de vers de terre les plus saprophytes (épigés et anéciques). L'indice d'activité biologique n'est pas significativement différent entre le TTCR et l'agrosystème. Un changement de qualité des matières organiques s'opère dans la

parcelle de TTCR, illustré par une augmentation des rapports des densités fongiques sur bactériennes, du C/N et de l'activité laccase. L'indice de communauté biologique supérieur dans le TTCR par rapport à l'agrosystème souligne l'importance des communautés biologiques (notamment vers de terre et champignons) pour le fonctionnement des sols soumis à des exportations intensives de bois. L'utilisation de bioindicateurs, en complément des indicateurs chimiques usuels de fertilité des sols, a permis de positionner le TTCR parmi trois autres usages (forêt > bande enherbée > TTCR > agrosystème) selon le fonctionnement biologique du sol.

**Mots clés :** Taillis à Très Courte Rotation, Saule, Indicateurs/Bioindicateurs, Matières Organiques du Sol, Qualité des sols, Biologie des sols.

## **Distribution spatiale à micro échelle des enzymes extracellulaires et de la diversité microbienne dans le sol**

KIM Haryun<sup>1</sup>, DECHESNE Arnaud<sup>2</sup>, NUNAN Naoise<sup>3</sup>, GRUNDMANN Genevieve<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pohang University of Science and Technology, School of Environmental Science and Engineering, Republic of Korea

<sup>2</sup> Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering

<sup>3</sup> CNRS, BioEMCo, Campus AgroParisTech, Thiverval-Grignon

<sup>4</sup> Laboratoire d'Ecologie Microbienne UMR 5557. Université Lyon1. France

La dégradation de la matière organique du sol est catalysée par des enzymes extracellulaires, EE, qui sont produites par les micro-organismes. Les activités de dégradation de la matière organique sont considérées comme une étape limitante de la dynamique de nombreux cycles biogéochimiques du sol. La distribution spatiale des activités des EE, EEA, à l'échelle des micro-habitats dans le sol, influence probablement le taux de rencontre entre les enzymes et leur substrat et influencent ainsi le taux de dégradation de la matière organique du sol. Il est probable que la distribution spatiale des EEA puisse constituer un paramètre mécanistique du fonctionnement biogéochimique du sol.

### **Objectif**

L'objectif de ce travail est de caractériser la distribution spatiale d'une série de EEA à l'échelle millimétrique dans deux sols de texture différente, et de déterminer comment elles sont affectées par le management du sol. Pour cela, un sol limoneux, cultivé sans apport de fertilisant ni d'engrais (organique), le même sol cultivé conventionnellement et un sol argileux cultivé conventionnellement ont été comparés.

### **Matériel e Méthodes**

7 enzymes extracellulaires, oxydases ou hydrolases, qui ciblent le cycle du C (Glucosidase, Cellobiohydrolase, Xylanase), le cycle de l'azote (chitinase, leucine aminopeptidase) ou le cycle du P (phosphate oxygenase) ont été étudiées dans les agrégats de sol par la mesure de la fluorescence apportée par le substrat. Le type de distribution (agrégée spatialement ou dispersée) a été quantifié en utilisant la fréquence de présence des EEA dans chaque agrégat de sol de taille différente : 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 mm de diamètre.

### **Resultats**

Le management du sol modifie la distribution des EEA. Glucosidase, xylosidase, cellobiohydrolase, chitinase sont plus agrégées spatialement sous management conventionnel que sous management organique. Les EEA sont plus dispersées spatialement dans le sol argileux que dans le sol limoneux, indépendamment de la pratique agricole. L'influence du management du sol et du type de sol sur la distribution spatiale des EEA sont du même ordre de grandeur. Toutefois les pattern de présence des enzymes et de la diversité bactérienne dans les agrégats ne sont pas liés.

### Conclusion

Les caractéristiques de distribution spatiales indiquent un comportement déterministe de la distribution des enzymes qui est modifié par les pratiques de management du sol. Elles indiquent également que certains types de transformation de la matière organique du sol sont plus susceptibles aux perturbations du sol que d'autres. Ce sont des informations utiles pour la modélisation du fonctionnement du sol et pour la mise en place d'index de fertilité.



## Modèles prédictifs de la biomasse microbienne

Le sol représente avant tout pour l'homme un support de construction et de production agricole. Sa surexploitation depuis le développement de l'agriculture intensive et de l'industrialisation a menée à une érosion significative de sa biodiversité et par la même des fonctions et services remplis par cette biodiversité.

Dans ce contexte, il devient donc urgent de fournir aux utilisateurs des sols les moyens d'évaluer l'état biologique de leur support de production et l'impact des pratiques associées (agricoles, industriels). Parmi les organismes indigènes des sols, les communautés microbiennes (bactéries et champignons) sont les plus importantes en densité (106-109 individus/g de sol), en diversité (103 à 106 espèces/g de sols) et aussi quant à leur implication dans le fonctionnement biologique des sols. Par conséquent, l'état biologique d'un sol sera fortement dépendant du niveau d'abondance et de diversité des communautés microbiennes indigènes.

Toutefois, face à la demande croissante des utilisateurs des sols pour caractériser l'état biologique de leur milieu de production il devient urgent de rendre opérationnelle l'expertise dans le domaine de la caractérisation biologique de sols. Pour finaliser et rendre opérationnelle le diagnostic biologique de la qualité des sols une étape technique reste à optimiser : « la mise en place de référentiels d'interprétation des bioindicateurs ». Techniquement, ce référentiel consiste en l'exploitation du système d'information MicroSol© développé au sein de la plateforme GenoSol. A ce jour, cette base de données contient plusieurs dizaines de milliers de données sur la microbiologie et les caractéristiques environnementales des sols qui sont stockés dans le conservatoire GenoSol (9000 sols à ce jour).

Dans ce contexte, nous avons développé des outils mathématiques (statistiques, modélisation) innovants pour les appliquer sur ce jeu de données et ainsi nous avons pu identifier les gammes de variation naturelles des bioindicateurs microbiens en utilisant des outils de modélisation paramétriques(modèle polynomiale) et en tenant compte des données spatiale, ainsi nous avons amélioré les capacités de prédiction et d'interpolation des nos données et obtenir une référence opérationnelle pour l'évaluation de qualité du sol.

## **Evolution des teneurs en éléments fertilisants des sols agricoles : les limites des enquêtes et des statistiques réalisées à partir des bases de données.**

**SERVAIN François <sup>(1)</sup>, SAGOT Stéphanie <sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> LDAR, 180 rue Pierre Gilles De Gennes, 02007 LAON cedex, fservain@cg02.fr

<sup>(1)</sup> LDAR, 180 rue Pierre Gilles De Gennes, 02007 LAON cedex, ssagot@cg02.fr

### Résumé

Les contraintes économiques et environnementales conduisent à des pratiques de fertilisation sans doute moins excédentaires que par le passé. En particulier, durant les vingt dernières années, l'émergence de nouveaux modèles de préconisation de la fertilisation et le développement de nouveaux outils d'aide à la décision ont conduit à des pratiques de fertilisation plus économes et plus proche du besoin réel des cultures. Les apports de fertilisants minéraux ont été réduits et on a vu apparaître de façon beaucoup plus systématique, dans les successions culturales, le recours aux impasses. Cette tendance est largement confirmée par les statistiques annuelles de commercialisation des engrais.

Parallèlement, compte tenu de l'inertie du système, l'évolution des teneurs mesurées dans les sols par des méthodes d'analyses conventionnelles, est lente. Ce n'est donc qu'après plusieurs années de pratiques différentes qu'une d'éventuelle modification de la fertilité chimique des sols peut être quantifiée.

Au sein d'une exploitation agricole, lorsque la pratique des analyses de terre est régulière, il est assez facile de suivre la fertilité des sols et d'avoir une vision claire, pour une parcelle donnée, de l'évolution des teneurs en phosphore extractible par la méthode Olsen, par exemple.

Mais, pour les pouvoirs publics, les instituts techniques, les agro-fournisseurs ou les laboratoires, cette question se pose pour des zones géographiques plus vastes et des situations plus variées. Pour y répondre, la tentation est grande de réaliser des enquêtes ou de valoriser des données existantes par des études statistiques simples qui peuvent être synthétisées grâce aux outils de cartographie.

Un laboratoire tel que le LDAR s'applique à vérifier la qualité et la pertinence des interprétations et des conseils qu'il donne sur l'ensemble des petites régions agricoles de sa zone d'activité. Les clients et les partenaires du LDAR et d'une manière plus générale, beaucoup des acteurs technicoéconomiques de la filière agricole s'interrogent quant à l'influence de la modification des pratiques culturales sur la fertilité à moyen terme des sols agricoles. Nous sommes donc amenés à étudier régulièrement l'évolution des résultats qui sont stockés dans nos bases de données. L'unité élémentaire de statistique est le plus souvent le canton, qui permet à la fois de disposer d'une population de résultats suffisante et de garder une certaine homogénéité des conditions de milieu et des pratiques culturales.

Néanmoins, contrairement à des études sur des parcelles élémentaires identifiées et suivies dans le temps, des statistiques réalisées sur des résultats issus d'une base de données conduisent à étudier des populations différentes pour les périodes retenues et à agréger des observations issues de parcelles, d'exploitations, de systèmes de cultures ou de types de sols parfois très variés. Il est donc indispensable de prendre un minimum de précautions lors de l'exploitation des résultats afin de s'assurer par exemple, de la représentativité des moyennes ou des médianes qui peuvent être calculées.

Dans ce cadre, sur l'ensemble des données dont nous disposons pour un département du nord-est de la France, pour les périodes allant de 2003 à 2007 et de 2008 à 2012, nous avons calculé, pour chaque canton, les moyennes et les médianes des teneurs observées

pour différents éléments. Nous avons ensuite représenté les variations de teneurs en fonction de la teneur initiale d'une part (figure 1), et de l'effectif des analyses pour chacun des cantons d'autre part (figure 2).

A titre d'exemple, nous ne présenterons ici que les résultats observés pour les teneurs en phosphore Olsen.

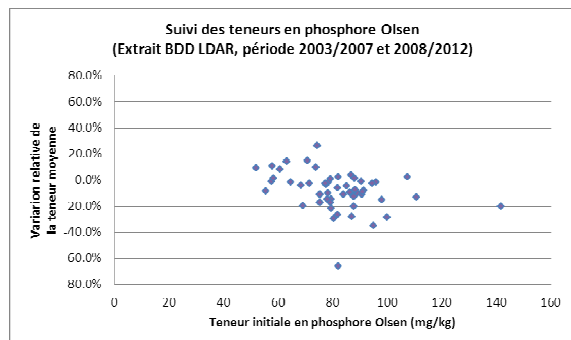


Figure n°1 : Phosphore Olsen, variation des teneurs moyennes en fonction de la teneur moyenne initiale

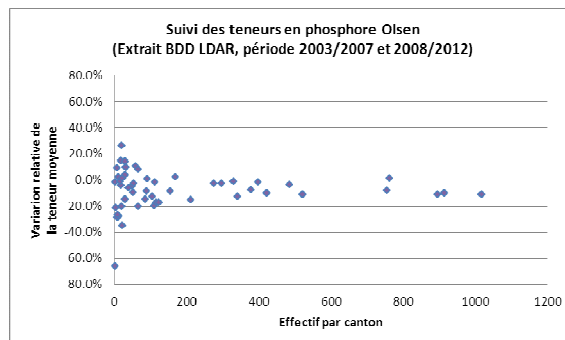


Figure n°2 : Phosphore Olsen, variation des teneurs moyennes en fonction de la population pour chacun des cantons

L'étude des variations de teneurs moyennes et des variations de teneurs médianes en fonction de la teneur initiale (moyenne ou médiane) conduit à des variations de teneurs très disparates et difficilement explicables selon les cantons.

Par opposition, l'étude des variations de teneurs moyenne et des variations de teneurs médianes en fonction de la population pour chacun des cantons conduit à des conclusions plus exploitables.

Pour les cantons présentant une population importante de plus de 150 à 200 analyses par période, les variations sont assez cohérentes et conduisent à conclure à une baisse modérée des teneurs en phosphore Olsen.

Pour les cantons avec des populations plus réduites, les valeurs de variations sont très dispersées. Il semble donc que, dans ces conditions, les statistiques soient peu fiables, trop influencées par la forte variabilité des résultats individuels et l'aspect aléatoire de leur répartition dans les deux périodes retenues.

Pour confirmer cette observation, nous avons retenu un canton unique qui présentait un nombre important d'analyses pour les deux périodes. Nous avons choisi différents effectifs pour chacune des périodes et nous avons réalisé des tirages aléatoires de résultats. A partir de ces différents jeux de données, nous avons calculé les variations de moyennes et de médianes. De nouveau, en dessous d'un effectif de l'ordre de 160 parcelles par période, ces calculs conduisent à des variations trop aléatoires pour être utilisables. Pour des effectifs plus importants les variations calculées sont beaucoup plus cohérentes entre elles et sans doute plus représentatives des variations réelles.

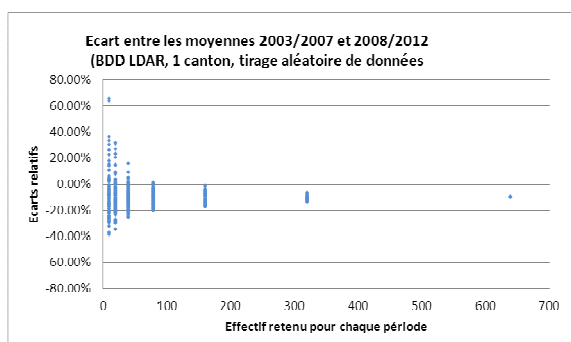


Figure n°3 : Phosphore Olsen, variation des teneurs moyennes en fonction de la population pour des tirages aléatoires de résultats sur un canton

## Conclusion

Afin de suivre dans le temps des variations de teneurs sur des zones géographiques relativement réduites, il peut sembler opportun d'utiliser des données existantes, issues des bases de données d'un laboratoire par exemple, afin de réaliser des études statistiques simples.

Ces travaux conduisent le plus souvent à agréger des résultats qui ont été obtenus sur des parcelles très différentes en termes de pratiques culturales, d'assolement ou de type de sol. Dans ces conditions, il convient, à minima, de vérifier que la population étudiée est suffisamment nombreuse ou de ne pas accorder trop d'importance aux résultats obtenus pour des effectifs trop réduits.

Pour diffuser et partager ces résultats, la cartographie est un mode d'expression à la fois synthétique et élégant. Mais les effectifs étudiés pour chaque zone ne sont que trop rarement indiqués, ce qui peut conduire à une dépréciation de la qualité des informations qui sont fournies.

Enfin, il convient de retenir que les données utilisées s'apparentent, pour chacune des périodes, à un panel aléatoire de résultats obtenus sur des parcelles agricoles soumises à l'analyse. La technicité des agriculteurs ou les itinéraires culturaux des exploitations peuvent présenter un lien parfois fort avec la fréquence des analyses. Les résultats de ces études statistiques ne sont donc pas toujours représentatifs de l'ensemble des situations et généralisables même à une échelle aussi réduite qu'un canton.

## Surveillance de la fertilité chimique des sols agricoles avec la BDAT

**SABY NPA<sup>1</sup>, SWIDERSKI, C.<sup>1</sup>, LEMERCIER B.<sup>2</sup>, EVEILLARD P.<sup>3</sup>, LOUIS B.<sup>2,4</sup>,  
ARROUAYS D.<sup>1</sup>, WALTER C.<sup>2</sup>, BARDY M<sup>1</sup>.**

1 : INRA, Unité Infosol, US1106, Orléans, France

2 : AGROCAMPUS OUEST, UMR1069 SAS, 65 rue de Saint-Brieuc CS 84215 -  
35042 Rennes

3 : UNIFA, Le diamant A 92909 PARIS La Défense

4 : INRA, UMR1069 SAS, Rennes, France

### Résumé

La Base de Données des Analyses de Terre (BDAT) regroupe les résultats d'analyses effectuées sur l'ensemble du territoire national par des laboratoires agréés par le Ministère de l'agriculture, à la demande d'agriculteurs. Les analyses disponibles sont réparties sur tout le territoire national et sur une période de 20 ans (1990 à 2010). Ces données constituent une source d'information importante sur la variabilité des caractéristiques des horizons de surface des sols cultivés. Les enjeux agronomiques et environnementaux autour des paramètres de fertilité des sols sont majeurs, mais l'évolution de leurs teneurs dans les sols aux niveaux national ou régional est peu documentée. Nous proposons ici d'étudier la fertilité chimique des sols agricoles et notamment leur état acido-basique en valorisant les données de la BDAT. Le statut acido-basique des sols agricoles non calcaires qui pourraient présenter un déficit de pH a été étudié. Pour cela, la relation entre le pH et le taux de saturation de ces sols a été caractérisée, puis la distribution spatiale des indicateurs de fertilité du sol a été cartographiée. Des évolutions temporelles ont également été recherchées. Enfin, les besoins en valeur neutralisante (VN) ont été quantifiés à travers des simulations et ce pour deux objectifs de pH : 6,3 et 6,8.

Les résultats montrent que la variabilité du pH pour une même valeur de S/T est importante : elle est supérieure à 1 unité de pH. On observe que la pente de la droite de la relation entre le pH et le taux de saturation est majoritairement influencée par le calcium. Les autres cations ne participent qu'à rehausser l'ordonnée à l'origine de la courbe (et donc à participer à l'augmentation du taux de saturation par une constante). Le calcium donne donc la forme globale de la relation, l'ajout de chaque cation fait augmenter le taux de saturation pour un pH donné.

Des traitements statistiques sur les données brutes et sur les données agrégées au niveau des petites régions agricoles, complétés par des représentations cartographiques, ont permis de mettre en évidence des évolutions significatives des médianes des pH (augmentation), et du taux de saturation (augmentation). Cependant, les biais statistiques inhérents à la stratégie d'échantillonnage adoptée sont importants et des précautions doivent

être prises pour interpréter les résultats d'évolution des caractéristiques chimiques des sols. La mise en place d'une procédure de rééchantillonnage et les effectifs d'analyses très élevés limitent ces biais.

La quantification des besoins en VN montre que les principaux sols à redresser se situent en Bretagne, en Pays-de-la-Loire, dans les Landes, le massif central et dans le sud du massif des Vosges. Il est possible d'estimer un besoin global en VN pour le territoire national en multipliant le besoin moyen par PRA et sa surface en terre arable. Pour tenir compte de la charge en cailloux, nous avons corrigé la somme totale par le pourcentage de cailloux moyen des sols non calcaires (d'après le RMQS : 12,5%). Nos calculs estiment à 4 millions et 10 millions de tonnes de VN nécessaires au redressement pour les objectifs 6,3 et 6,8 respectivement.

Puisqu'elle est une source d'information relativement peu coûteuse et simple à mobiliser, la BDAT est un outil clé du dispositif national de connaissance et de surveillance des sols, et le seul actuellement opérationnel pour le suivi des caractéristiques chimiques des horizons de surface des sols agricoles à petite échelle. A terme, le géoréférencement précis des prélèvements de terre permettra de relier les données de la BDAT à d'autres sources d'information sur les sols ou leur occupation. La BDAT est complémentaire des autres programmes du GIS Sol (cartographie exhaustive des sols à différentes échelles) et de démarches expérimentales dans lesquels les sols sont décrits précisément et dans leur ensemble. Cette étude à vocation d'inventaire ne saurait en rien remplacer l'analyse de terres des parcelles agricoles qui reste le seul outil d'aide à la décision adapté à l'échelle d'une exploitation agricole.

## Impact de l'agroforesterie sur le stock de carbone organique du sol sous climat méditerranéen

CARDINAEL Rémi<sup>1,3</sup>, CHEVALLIER Tiphaine<sup>1</sup>, BARTHÈS Bernard<sup>1</sup>, DUPRAZ Christian<sup>2</sup>,  
CHENU Claire<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IRD, UMR Eco&Sols, Montpellier SupAgro, Bâtiment 12, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> INRA, UMR System, Montpellier SupAgro, Bâtiment 27, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>3</sup> AgroParisTech, UMR Bioemco, Bâtiment Eger, Avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France

Le stock de carbone (C) des sols est extrêmement sensible au changement d'usage des terres, et peut à la fois être une source ou un puits de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les systèmes agroforestiers, associations d'arbres et de cultures sur une même parcelle, permettent de stocker du C dans la biomasse ligneuse aérienne et souterraine des arbres. De tels systèmes pourraient également améliorer les stocks de C organique du sol, de part des entrées de C plus importantes, comme les litières aériennes des arbres, les résidus de tailles, le renouvellement des racines fines et les exsudations racinaires des arbres et de la strate herbacée des allées d'arbres. Cependant, bien que les systèmes agroforestiers aient été largement étudiés en milieu tropical, très peu d'estimations du potentiel de stockage de C de ces systèmes sont disponibles pour les milieux tempérés et méditerranéens et les estimations ne concernent que les horizons superficiels du sol (Lorenz et Lal 2014). De plus l'estimation du potentiel de stockage est rendue plus difficile en raison de la variabilité spatiale importante dans ces systèmes.

Les objectifs de cette étude étaient (i) de quantifier les stocks de C organique du sol jusqu'à 2 m de profondeur dans un système agroforestier en comparaison avec un témoin agricole, (ii) d'analyser la variabilité spatiale de ces stocks notamment par rapport à la distance aux arbres, et (iii) d'identifier quelles sont les fractions granulo-densimétriques de la matière organique responsables du stockage additionnel éventuel. Le travail a porté sur une parcelle expérimentale mise en place en 1995 (18 ans) à Prades-le-Lez, dans l'Hérault, sur un sol alluvial carbonaté (Fluvisol). Dans le système agroforestier, des noyers hybrides (*Juglans regia x nigra cv. NG23*) ont été plantés à une densité de 110 arbres par hectare, et associés à une culture intercalaire d'hiver, principalement du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*). Dans le témoin agricole, seule la culture annuelle a été conduite, avec le même itinéraire technique (travail du sol, avec labour tous les 2 ans). Les lignes d'arbres sont occupées par de la végétation herbacée spontanée depuis la plantation.

Une première campagne de prélèvements de 24 carottes à structure conservée jusqu'à 2 m de profondeur a permis de réaliser des profils texturaux et de choisir deux zones de même texture, l'une dans la parcelle agroforestière et l'autre dans la parcelle agricole. Lors de la deuxième campagne, environ 200 carottes de sol à structure conservée, positionnées par rapport aux rangées

d'arbres, ont été prélevées jusqu'à 2 m de profondeur pour ces deux zones de 625 m<sup>2</sup> chacune. Chaque carotte a été découpée en 10 couches, sur chacune desquelles ont été mesurées la densité apparente, ainsi que la texture et la teneur en C organique du sol, qui ont été mesurées (analyse élémentaire) ou prédites grâce à l'acquisition de spectres visibles et proche infrarouge sur le terrain. Une représentation spatiale des stocks de C à l'échelle des deux zones de 625 m<sup>2</sup> a été réalisée. Nous avons réalisé un fractionnement granulo-densimétrique textural du sol sur 64 échantillons prélevés à 0-10, 10-30, 70-100 et 160-180 cm de profondeur dans les deux parcelles.

Les stocks de C présentent une variabilité spatiale forte, mais organisée. La représentation spatiale a montré un doublement des teneurs en C organique en surface sur la ligne d'arbres comparativement à l'inter-rang, probablement dû à des apports importants de la végétation herbacée spontanée dans le rang d'arbres. Grâce à un plan d'échantillonnage dense, il a été possible d'estimer de manière satisfaisante le stockage de C sous agroforesterie. Alors que le stock dans la parcelle agricole de référence est de  $42.29 \pm 0.53 \text{ tC.ha}^{-1}$  sur 0-30cm et de  $118.48 \pm 0.88 \text{ tC.ha}^{-1}$  sur 0-100cm, dans l'inter-rang, un stockage additionnel significatif de  $2.5 \pm 0.80 \text{ tC.ha}^{-1}$  a été observé sur l'horizon 0-30 cm, et de  $3.5 \pm 1.29 \text{ tC.ha}^{-1}$  sur 0-100 cm. Pour ce qui est de la ligne d'arbres, le stockage additionnel est de  $17.5 \pm 1.06 \text{ tC.ha}^{-1}$  par rapport au témoin agricole sur 0-30 cm, et de  $20.5 \pm 1.50 \text{ tC.ha}^{-1}$  sur 0-100 cm. En dessous de 1m de profondeur, nous n'avons pas observé de différences de stocks, et fait l'hypothèse d'une hétérogénéité initiale de la parcelle. Sachant que les lignes d'arbres occupent 16% de la parcelle agroforestière, nous avons calculé le stockage de C additionnel à l'échelle de la parcelle agroforestière par comparaison à une parcelle agricole. Les taux annuels de stockage additionnel de C pour la parcelle agroforestière ont été estimés à  $272 \pm 68 \text{ kgC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  (0-30 cm) et  $352 \pm 98 \text{ kgC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  (0-100 cm). Les ordres de grandeur sont donc supérieurs à ceux acceptés pour les pratiques de simplification du travail du sol (Pellerin et al. 2013). Si l'on ne considère que l'inter-rang cultivé, le taux annuel de stockage additionnel de C par rapport au témoin agricole est de  $140 \pm 44 \text{ kgC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  (0-30 cm) et de  $190 \pm 72 \text{ kgC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  (0-100 cm). Cet important stockage de C additionnel sur la ligne d'arbres est principalement dû à des fractions organiques labiles (50-200 et > 200  $\mu\text{m}$ ), et pour seulement 10 à 15% à des fractions fines. Le stockage de C est observé principalement en surface et sur la ligne d'arbres, dans des fractions labiles, ce qui en fait pour le moment un stockage vulnérable. Si l'on prend en compte le stockage de C dans la biomasse des arbres, le taux annuel de stockage de C pour la parcelle agroforestière est d'environ  $1.2 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ , ce qui est relativement élevé par rapport à d'autres modes de gestion des sols susceptibles d'atténuer l'impact de l'agriculture sur le changement climatique, comme le non labour ou l'agriculture de conservation.



## AMG, un modèle simple de calcul de bilan humique : Applications pour l'aide à la décision et récents développements

DUPARQUE Annie<sup>1</sup>, TOMIS Vincent<sup>1</sup>, BOUTHIER Alain<sup>2</sup>, SAGOT Stéphanie<sup>3</sup>, MARY Bruno<sup>4a</sup>

Avec la collaboration de BLIN Bénédicte<sup>3</sup>, DENOROY Pascal<sup>4b</sup>, DINH Jean-Louis<sup>1</sup>, GANTEIL Flora<sup>3</sup>, HOUOT Sabine<sup>4c</sup>, LEVERT Maxime<sup>1</sup>, TROCHARD Robert<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2, Chaussée Brunehaut, F-80200 Estrées-Mons, France  
[a.duparque@agro-transfert-rt.org](mailto:a.duparque@agro-transfert-rt.org), +33 (0)3 22 85 75 89

<sup>2</sup> Arvalis Institut du végétal ; <sup>3</sup> LDAR (Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche)

<sup>4a</sup> INRA, Unit AgroImpact Laon ; <sup>4b</sup> INRA UMR TCEM Bordeaux ; <sup>4c</sup> INRA UR EGC Grignon ;

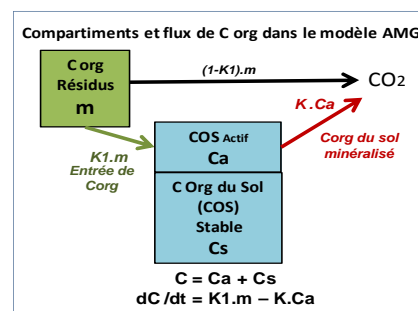
### Contexte

Les matières organiques assurent des fonctions multiples et très complémentaires vis-à-vis des différentes composantes de la fertilité des sols : elles jouent un rôle important dans la détermination des principales propriétés physiques du sol (stabilité structurale, stockage et transferts d'eau, aptitude à la fissuration,...), de la fertilité chimique (CEC, fourniture d'éléments minéraux aux cultures, pouvoir tampon,...) et de l'activité biologique (source d'énergie et de nutriments pour les organismes vivants du sol). Ainsi, la gestion des matières organiques raisonnée sur le moyen et le long terme à l'échelle de la parcelle est un facteur important de préservation du potentiel de production mais également des qualités environnementales d'un sol cultivé.

L'approche classique de la gestion de l'état organique d'un sol s'appuie sur le calcul d'un bilan humique, traduit en termes de bilan de carbone organique du sol (balance entrées – sorties de C organique). Or, la variabilité spatiale des teneurs en C organique à l'échelle d'une parcelle est en général importante alors même que leur évolution dans le temps sous l'effet des facteurs climatiques et des pratiques culturales est lente. Le suivi et la gestion des variations de stocks de C organique doivent donc être abordés sur le long terme. Ainsi, le bilan humique d'une parcelle agricole caractérisée par son système de culture (succession de cultures et pratiques culturales associées) doit être calculé sur une période d'au moins 20 ans pour évaluer ses impacts à long terme sur l'état organique du sol. Le modèle simple Hénin & Dupuis a été développé en France dans ce but (Hénin et Dupuis, 1945). Le modèle AMG en est une adaptation plus récente qui tient compte des avancées des connaissances sur la dynamique du Carbone Organique des Sols (COS) (Andriulo et al, 1999). L'évaluation et l'amélioration du modèle AMG ont fait l'objet de travaux plus récents (Saffih et Mary, 2008 ; projet « AMG », 2009-2012<sup>1</sup>) qui se poursuivent actuellement. En parallèle, ce modèle, mis en œuvre dans le cadre de projets de transfert (GCEOS<sup>2</sup> ; Cartopailles<sup>3</sup>) a donné lieu au développement d'un outil d'aide à la décision : SIMEOS-AMG qui connaît plusieurs types d'applications au service d'une gestion durable des matières organiques et des stocks de carbone des sols cultivés.

### Description et évaluation du modèle AMG

Le modèle AMG est un modèle simple, à pas de temps élémentaire annuel, à 3 compartiments (C Organique Frais ; COS Actif ; COS Stable) et 3 coefficients principaux (K1 : coefficient isohumique, rendement de la transformation du carbone frais en carbone de l'humus; k : vitesse de minéralisation annuelle du COS actif ; Ca/Cs : rapport entre COS Actif et COS Stable).



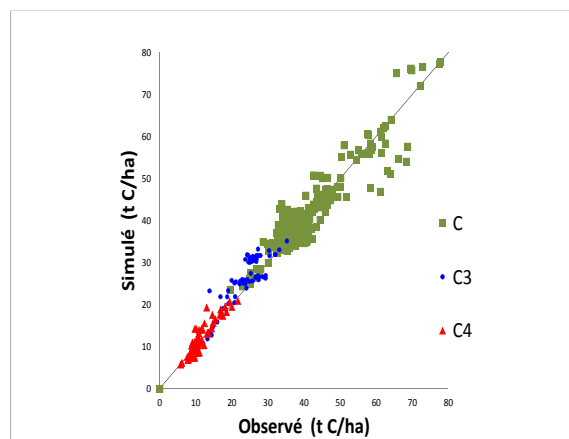
### Le modèle AMG

<sup>1</sup> Projet CasDAR RFI « AMG » (2009-2012) : projet conduit par Arvalis, en partenariat avec Agro-Transfert Ressources et Territoires, l'INRA de Laon-Mons, de Grignon, de Bordeaux et le LDAR.

<sup>2</sup> GCEOS (2004-2011) : Projet régional (2004-2009), conduit par Agro-Transfert RT, en partenariat avec l'INRA de Laon-Mons, Les Chambres d'Agriculture de Picardie, le LDAR, l'Institut Lasalle-Beauvais, la fédération régionale des experts fonciers et agricoles, la FRCA Picardie, avec le soutien financier du Conseil Régional de Picardie.

<sup>3</sup> Cartopailles (2004-2008) : Projet régional (2004 à 2007), porté par la Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de Picardie, en partenariat avec l'INRA de Laon, ARVALIS Institut du Végétal, l'Institut Lasalle-Beauvais, la Chambre d'Agriculture de l'Aisne, Alternatech, avec le soutien financier du Conseil Régional de Picardie et de DRTT.

Le modèle AMG a été développé par Andriulo et al (1999) puis évalué en différentes étapes : par Wylleman et al (2001) sur la base de données d'analyses de terre régionale du LDAR ; sur un jeu de données de 9 essais internationaux avec et sans exportation de pailles (Saffih et Mary, 2008) ; puis plus récemment, dans le cadre du projet « AMG » (Dinh, 2012 ; Duparque et al, 2013), sur une base de données de 23 essais de longue durée compilant des essais français. Un outil spécifique, « AMG-Recherche », destiné au test et à l'optimisation du modèle, a été mis au point pour faciliter les travaux d'évaluation et d'amélioration du modèle actuels et à venir.



**Evaluation du modèle AMG sur la BD d'essais de longue durée**

### **Applications du modèle pour le conseil personnalisé à la parcelle et l'aide à la décision à l'échelle du territoire**

L'outil SIMEOS-AMG permet de simuler l'évolution à long terme du stock et de la teneur en C organique des sols en tenant compte des effets combinés du système de culture (rotation culturale, niveau des rendements, gestion des résidus de culture, pratique de cultures intermédiaires, apports organiques, irrigation), du sol et du climat, à l'échelle élémentaire de la parcelle cultivée. Il permet ainsi de diagnostiquer l'impact de choix culturaux dans un milieu donné et d'appuyer le conseil auprès des agriculteurs pour la gestion de l'état organique des sols en testant des pratiques alternatives par simulations successives. Les informations directement accessibles sur l'exploitation agricole associées aux références fournies par l'outil suffisent à alimenter les simulations.

Le diagnostic et l'aide à la décision permise par l'outil sont en cours d'application à l'échelle de territoires agricoles afin d'évaluer les possibilités de stockage ou les risques de déstockage de carbone des sols, avec une vision spatialisée des bilans de carbone correspondants. La résolution du calcul est alors celles de l'ilot de culture (Ilot PAC : projet ABC'Terre<sup>4</sup>) ou celle du canton (projet bilan GES en Nord Pas de Calais). Dans ce second type d'application, les informations utilisées en entrée des simulations proviennent du référentiel intégré à l'outil et de bases de données nationales ou régionales : Réseau Parcellaire Graphique ou Recensement Général Agricole pour les données sur les assolements et rotations ; Référentiel Pédologique et Base de Données d'Analyses de Terre pour les données Sol ; Bases de données et expertise régionale concernant les pratiques agricoles prises en considération.

Différents exemples d'application de l'outil à ces deux échelles sont présentés.

#### **Références citées :**

- Andriulo A., Mary B., Guéris J., 1999.** Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*. 19: 365-377.
- Dinh J.L., 2012.** Modélisation et correction des erreurs de prédiction du modèle AMG par des modèles linéaires à effets mixtes. Mémoire de Master Recherche AgroParisTech Université PARIS SUD.
- Duparque A., Dinh J.L., Mary B., 2013.** AMG: a simple SOC balance model used in France for decision support. Colloque SOMpatic, Rauischholzhausen (Germany), 20-22 Novembre 2013 *on line at: <http://www.uni-giessen.de/cms/sompatic>*
- Hénin S., Dupuis M., 1945.** Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques*. 19-29
- Saffih-Hdadi K., Mary B., 2008.** Modelling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 594-607.

<sup>4</sup> ABC'Terre Atténuation du Bilan de gaz à effet de serre agricole et de Carbone organique des sols à l'échelle d'un Territoire : Projet REACTIF1 de l'ADEME, porté par Agro-Transfert-RT, en partenariat avec l'Institut Lasalle Beauvais, l'ARAA, INRA, AgroParisTech, le LDAR, la chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes

## Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organiques et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam

NGO Phuong-Thi<sup>1,2</sup>, JOUQUET Pascal<sup>1</sup>, DOAN Thu Thuy<sup>1</sup>, DANG Dinh-Kim<sup>2</sup>, RUMPEL Cornelia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IEES Paris (UPMC, IRD, CNRS), 78850 Thiverval-Grignon, [ngophuongchimie@gmail.com](mailto:ngophuongchimie@gmail.com)

<sup>2</sup>Institute of Environmental Technology, VAST, Hanoi, Vietnam

Une stratégie pour améliorer durablement la fertilité des sols dégradés par érosion au Nord du Vietnam consiste à apporter des amendements organiques exogènes (AOEs). L'application de fèces de buffle, de son compost et lombricompost, ainsi que de biochar permettraient à faible coût d'améliorer la qualité des sols et la croissance des plantes en réduisant l'utilisation d'engrais, mais également de séquestrer du carbone. L'objectif de ce travail est d'évaluer (1) l'utilité des quatre AOEs seuls ou en association pour séquestrer du carbone, et (2) l'effet de l'apport des quatre substrats organiques seuls ou en association sur la quantité et qualité des matières organiques d'un sol agricole tropical dégradé typique du Nord du Vietnam. Pour répondre à cet objectif, nous avons effectué des incubations au laboratoire, en sachet de litière dans des conditions de terrain et suivi pendant trois ans une expérience en mesocosme avec ajouts des AOEs au sol cultivé en conditions de terrain.

La stabilité biologique de ces AOEs a été liée à leur teneur en carbone soluble, diminuant suivant l'ordre : fèces de buffle > compost > lombricompost. Le biochar, constitué de carbone aromatique, se caractérisait par une très forte stabilité biologique. L'association du biochar avec les autres AOEs a influencé leur stabilité, en protégeant la matière organique labile contre la dégradation biologique.

Notre expérience de trois ans en mésocosmes en conditions naturelles a montré que tous les AOEs ont un effet positif sur le stockage du carbone dans le sol ainsi que sur la qualité de la matière organique de sol. L'association de biochar et de lombricompost en augmentant l'abondance des composés dérivés de la lignine ainsi que la teneur en sucre provenant des plantes et des microorganismes, semble montrer un effet synergique de cette association sur la fertilité des sols (activité microbienne, prospection racinaire). Comparé aux résultats d'incubation en sachet de litières, ces résultats indiquent un effet significatif et contrasté des AOEs sur la croissance des plantes en particulier sur l'apport racinaire.

En conclusion, l'association de biochar et de lombricompost semble la meilleure solution pour améliorer la qualité de sols dégradés par l'érosion dans le Nord du Vietnam. Ces résultats devront être confirmés par des études à long terme, tant du point de vue de la qualité physicochimique que biologique des sols amendés par ces AOEs.

# Prendre en compte tous les indicateurs de l'acidité des sols pour l'interprétation et le conseil en matière de chaulage

12es Journées d'Etude des Sols 30 juin - 4 juillet 2014 - Le Bourget du Lac

## Groupe Chaulage

▪ **Félix-Faure Bruno** - Responsable Agronomie, Grandes Cultures et Prairies de GALYS, laboratoire d'analyses agricoles (analyses : de sol, de reliquat d'azote minéral, de végétal, d'amendement organique et de matières fertilisantes).

GALYS (siège social) - 14 rue André Boulle - 41000 Blois

- Animateur du Groupe Chaulage du COMIFER

[bruno.felixfaure@galys-laboratoire.fr](mailto:bruno.felixfaure@galys-laboratoire.fr)

▪ **CARRIERE Matthias** - Ingénieur régional sud au sein du groupe Agro-Systemes/Laboratoire SA, référent technique agronomie, fertilisation.

SAS Laboratoire / AGRO-Systèmes – 270 avenue de la Pomme de Pin – 45160 ARDON

[mcarriere@agro-systemes.com](mailto:mcarriere@agro-systemes.com)

▪ **KALT Sébastien** - Ingénieur pour les analyses de terre, chargé des problématiques fertilisation de chaulage sur les Grandes Cultures.

LCA (siège social) La Rochelle ZI Chef de Baie - 1 rue Champlain 17074 La Rochelle

[sebastien.kalt@laboratoirelca.com](mailto:sebastien.kalt@laboratoirelca.com)

• La présentation s'articule autour de quatre points : 1<sup>er</sup> point : Les indicateurs de l'acidité, 2<sup>ème</sup> point : Parmi ces indicateurs lesquels sont les plus pertinents, 3<sup>ème</sup> point : Dans certaines situations, des cas de discordance entre indicateurs peuvent s'observer. Quelles en sont les causes possibles et 4<sup>ème</sup> point en conclusion : Quels sont les éléments à prendre en compte pour raisonner le chaulage, notamment dans des situations où les indicateurs de l'acidité présentent une discordance.

### • Les indicateurs de l'acidité :

▪ **Le pH<sub>eau</sub>** : la mesure du pH consiste à mesurer la concentration en ions H<sup>+</sup> (protons), soit  $\text{pH}_{\text{eau}} = -\log_{10} [\text{H}^+]$ .

Au laboratoire cette mesure se réalise avec 1 volume de sol dans 5 fois son volume d'eau. Le sol est séché et tamisé à 2 mm. La norme implique 1 h d'agitation, puis attente de 1h avant mesure au pH mètre (à 20 °C). En France nous utilisons le paramètre pH eau. Nos voisins européens utilisent le pH<sub>CaCl2</sub>.

Dans le sol, les flux de protons sont permanents et le pH en est donc la résultante. La production de protons (H<sup>+</sup>) par les différentes réactions biologiques du sol est très active là où se trouvent localisées la matière organique et l'activité racinaire. Le sol, grâce à son pouvoir tampon, va s'opposer à ces variations de pH (élévation de pH suite à un chaulage, diminution de pH suite à des phénomènes d'acidification). Argile et matière organique constituent le principal pouvoir tampon dans une gamme de pH<sub>eau</sub> de 5,5 à 7,0. En sol calcaires les carbonates vont également jouer ce rôle de pouvoir tampon et en sol acide, l'altération des argiles (minéraux aluminosilicates) libérant de l'aluminium échangeable joue également ce rôle de pouvoir tampon.

Le pH<sub>eau</sub> subit une variation saisonnière qui peut être importante. Un suivi pH réalisé sur une parcelle du Sud-Ouest en sol limoneux, montre que cette variation peut aller jusqu'à 1 point de pH dans les sols peu tamponnés (faible CEC).

Le pH<sub>eau</sub> est plus élevé en période hivernale. Inversement au printemps, sa valeur s'abaisse pour atteindre un minimum en juin. L'activité biologique variable suivant la température du sol, la présence ou non d'une culture avec un système racinaire actif, les apports d'azote sous forme ammoniacale (uréique également) vont être à l'origine de ces variations de pH.

▪ **Le pH<sub>KCl</sub>** : sa mesure laboratoire correspond à celle du pH réalisée avec 1 volume de sol dans 5 fois son volume d'une solution de chlorure de potassium (KCl) à 1 mol/l. Le pH<sub>KCl</sub> subit une variation saisonnière identique au pH<sub>eau</sub>. Il est faux de dire que le pH<sub>KCl</sub> indique la valeur minimale que le pH<sub>eau</sub> atteindra après acidification.

Le numéro 45 de la Série 20 consultable en ligne sur [www.drdet.bzh](http://www.drdet.bzh)

▪ **L'aluminium échangeable** dans une solution de KCl, puis titration ou spectrométrie. Lorsque le  $pH_{eau}$  prend des valeurs inférieures à 5,8 – 5,5 les composés aluminiques subissent une dissolution (cas des argiles ou phyllosilicates d'aluminium, oxydes ou hydroxyde d'aluminium). Cette dissolution entraîne une libération dans la solution d'ions d'aluminium :  $Al(OH)^{2+} + H^+ \rightarrow Al^{3+} + H_2O$ . Les ions  $Al^{3+}$ , plus facilement échangeables, peuvent prendre les places occupées par les cations  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  sur le système adsorbant. Ces ions  $Al^{3+}$  sont toxiques pour les racines. Le seuil de toxicité aluminique se situe autour de 50 mg d'Al. échangeable/kg. Dans les sols à forte teneur en matière organique une fraction de l'aluminium complexé (non toxique) est dosée.

Dans des situations de sols très acides, le calcul du Besoin En Base (BEB) se devrait d'intégrer à la fois :

Le  $BEB_1$  pour neutraliser l'Al éch., puis le  $BEB_2$  pour remonter le pH ou le taux de saturation (selon la méthode).

A titre d'exemple : 930 unités VN/ha sont nécessaires pour éliminer 100 mg/kg d'Al<sup>3+</sup> (pour 3000T de terre/ha)

▪ **Le taux de saturation** ( $S/CEC = \text{Somme des cations} / CEC\text{-Metson (en \%)}$ ) nécessite le dosage des cations échangeables (Calcium, Magnésium, Potassium, Sodium) et la mesure de la CEC selon la méthode Metson (réalisée à pH 7,0 et non au pH du sol). pH et S/CEC sont assez bien corrélés.

Les sols très acides sont désaturés avec des S/CEC très faibles. Inversement les sols calcaires (même très légèrement) sont saturés avec des taux de saturation supérieurs à 100% (quelques g/kg de CaCO<sub>3</sub> suffisent pour avoir S/CEC > 100 %). En-dessous de pH 7,0 le dosage classique des carbonates (calcaire total) n'est pas suffisamment sensible pour quantifier une présence éventuelle de carbonate.

Une étude réalisée sur l'année 2012 avec 5 654 échantillons (en provenance de la coopérative AXEREA : Zone Centre départements : 18-28-36-37-41-45) a permis d'étudier la relation pH en fonction de S/CEC.

Une 1<sup>ère</sup> approche sous forme de nuage de points semble indiquer dans un 1<sup>er</sup> temps une dispersion assez importante rendant peu discernable la corrélation pH – S/CEC. La présence de 23% de sols calcaires (Calc.tot.> 5g/kg) explique le fort pourcentage d'analyses avec S/CEC > 100%. Nous notons qu'une proportion d'analyses (9% du total) présente un pH > 7,0 mais avec un S/CEC < 100%. En ne sélectionnant que les analyses prélevées en hiver cette proportion augmente jusqu'à 24% (pH plus élevé en hiver). A l'inverse, des analyses présentant un pH < 7,0 mais avec S/CEC > 100% se rencontrent surtout sur la période printemps-été-automne.

L'approche "nuage de points" a l'inconvénient de mettre en avant la dispersion, car l'empilement des points n'est pas perceptible. C'est pourquoi une autre approche a été réalisée en recherchant par "tranche" de CEC les pH médians, ainsi que les 1<sup>ers</sup> et 3<sup>èmes</sup> quartiles (entre lesquels se trouvent 50% des analyses). La relation pH fonction (S/CEC) se dessine alors très clairement.

Le même type d'étude a été réalisé sur la zone Bretagne à partir de 87 000 échantillons (en provenance de la coopérative TRISKALIA). L'approche "nuage de points" met là aussi en avant la dispersion, alors que l'approche à partir des pH médians et des quartiles montre bien la relation pH fonction de S/CEC. Une approche plus fine par PRNA (Petites Régions Naturelles Agricoles) permet d'améliorer la relation pH fonction de S/CEC avec des coefficients de corrélation ( $R^2$ ) de l'ordre de 0,80-0,85.

• **pHeau – S/CEC – Al éch.** : 3 indicateurs de l'acidité pertinents, sachant les limites de chacun.

- Le pH, l'indicateur le mieux référencé, doit nécessairement se raisonner en intégrant la date de prélèvement.

- S/CEC assez bien corrélé avec le  $pH_{eau}$ , moins sujet aux variations saisonnières, nécessite par contre une certaine prudence d'utilisation dans les situations à faible CEC où l'indicateur S/CEC est alors de précision médiocre.

- Al éch. s'avère intéressant dans les sols très acides où il traduit les risques de toxicité aluminique. Dans les sols à forte teneur en matière organique son interprétation est plus délicate.

• **Cas de discordance entre indicateurs de l'acidité, les causes possibles :**

- La remontée plus ou moins importante du pH durant les mois d'hiver peut expliquer la proportion plus importante de discordance entre indicateurs pH et S/CEC pour des prélèvements hivernaux.

- Dans certaines situations, en lien avec l'historique des apports de CaCO<sub>3</sub>, la présence de carbonates résiduels (non dosés par la méthode classique du calcaire total) va entraîner une surestimation de la teneur en CaO échangeable et par là même de S/CEC.

- Dans le cas de CEC faible (sol sableux ou sablo-limoneux), la précision de l'indicateur S/CEC risque d'être médiocre et celui-ci peut être surestimé ou sous-estimé d'où des discordances avec l'indicateur pH.

• **Conclusions : quelles décisions pour un conseil ?**

Dans le raisonnement du chaulage il est donc indispensable de :

- Prendre en compte la date de prélèvement et l'historique des apports d'amendements minéraux calciques basiques.

- En sol sableux ou sablo-limoneux ( $CEC\text{ Metson} < 60\text{ meq/kg}$  ou  $6\text{ cmol+ /kg}$ ), se baser sur l'indicateur  $pH_{eau}$ .

- En sol très acide ( $pH_{eau} < 5,5$ ), compléter le diagnostic par le dosage de l'aluminium échangeable.

- En cas de discordance de diagnostic entre deux indicateurs, après contrôle laboratoire et avoir jugé de la cohérence des résultats par rapport aux analyses précédentes, le conseil sera basé sur une politique intermédiaire.

La pratique de l'amendement sera un compromis entre le coût économique (risque d'en apporter trop) et le risque d'inefficacité (risque de ne pas en apporter assez).

## **Impact du semis direct sur les propriétés physiques du sol au Maroc central**

**M. Laghrour, R. Moussadek, M. Mekkaoui, A. Zouahri, R. Dahan**

Université Mohammed V Agdal - Rabat

[Laghrour.Malika@gmail.com](mailto:Laghrour.Malika@gmail.com)

Au Maroc, la qualité des ressources en sols cultivés est très alarmante. Ceci est expliqué par l'adoption des utilisations et techniques inappropriées pour le labour intensif sous semis conventionnelle (SC). En effet, des études antérieures ont expliqué la dégradation sous SC par le labour intensif causant une diminution des teneurs en matière organique (MO) qui joue un rôle très important sur l'ensemble des phénomènes physico-chimiques du sol. Pour remédier à cette situation, des travaux de recherches internationales et nationales proposent d'adopter les techniques de l'agriculture de conservation et notamment le semis direct (SD) pour assurer la durabilité du système de production agricole par l'amélioration du stock de la MO des sols cultivés. Dans cet article, on présentera les résultats montrant l'impact de l'adoption de l'agriculture de conservation et notamment le SD sur les propriétés physico-chimiques dans les sols agricoles d'une région situés au Maroc central. Les résultats obtenus dans ce travail ont permis de montrer les effets favorables du SD, sur la qualité des sols en termes de teneurs en MO et d'améliorer leur stabilité structurale contre l'érosion hydrique.



## Restauration écologique par reconstitution pédologique : cas de la réserve naturelle des Coussouls de Crau impactée par une fuite d'hydrocarbures.

**BUREAU Fabrice<sup>1</sup>, POTARD Kevin<sup>1</sup>, BULOT Adeline<sup>2</sup>,  
BERARD Annette<sup>3</sup>, DUTOIT Thierry<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> : ECODIV-EA 1293, Normandie Univ, Fédération de Recherche SCALE-FED 4116, Université de Rouen, bâtiment IRESE A, place Emile Blondel, 76821 Mont Saint Aignan cedex, [Fabrice.bureau@univ-rouen.fr](mailto:Fabrice.bureau@univ-rouen.fr)

<sup>2</sup> : UMR CNRS-IRD 7263 IMBE, Université d'Avignon.

<sup>3</sup> : UMR INRA-UAPV 1114 EMMAH, Domaine Saint-Paul, Avignon.

Le 07 août 2009, une importante fuite de pétrole (4 700 m<sup>3</sup>) d'une canalisation enterrée est survenue au centre de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau (Bouches-du-Rhône, France) et a détruit 5 ha de végétation steppique. En 2010, le sol pollué a été excavé sur 40 cm de profondeur et transporté en décharge. Suite à cette excavation, la question s'est posée de savoir comment mener la restauration du sol steppique caractéristique de ce site naturel à savoir un FERSIALSOL leptique tronqué ? La solution proposée a consisté, au printemps 2011, à transférer 72 000 tonnes d'un même sol issues d'une carrière proche. Cette opération a été associée à différentes expérimentations *in situ* de remise en place du sol. La reconstitution du sol a ainsi été réalisée selon les 3 modalités suivantes :

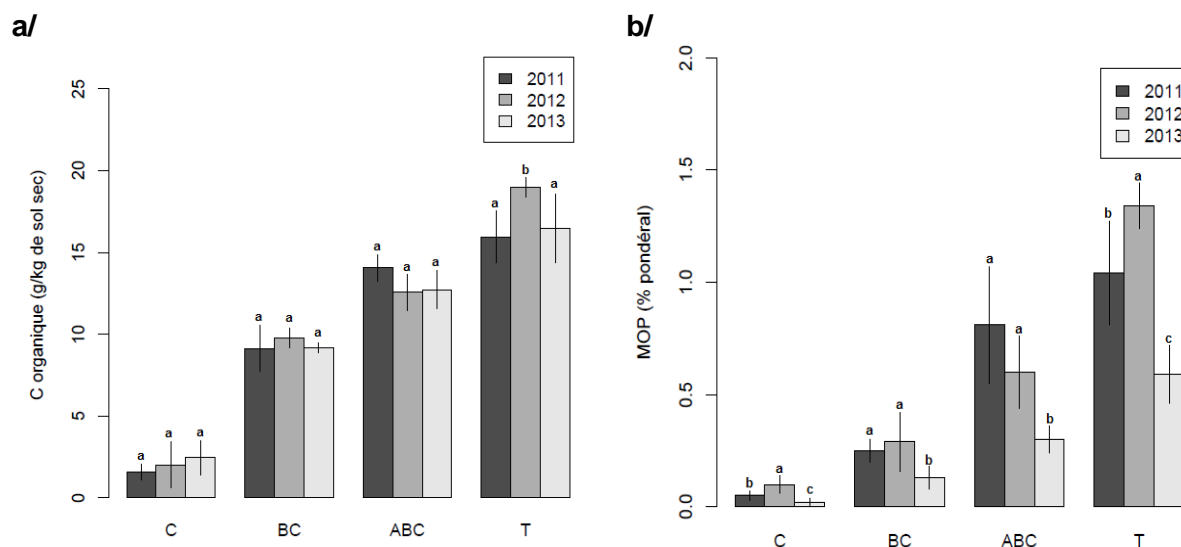
- La modalité « ABC » avec la remise en place de l'ensemble des 3 horizons du sol steppique (de l'horizon organo-minéral A de surface à l'horizon de cailloutis C en passant par l'horizon minéral FS caractéristique du sol initialement en place) ;
- La modalité « BC » qui consiste en la remise en place des 2 horizons minéraux du sol steppique (FS et C) ;
- La modalité « C » où seul l'horizon C du sol de la steppe est mis en place.

Au niveau démarche méthodologique, ces 3 modalités de restauration du sol sont comparées à un sol témoin (T) correspondant au sol steppique en place n'ayant pas été atteint par la fuite d'hydrocarbures et qui correspond au sol de référence.

L'objectif principal de cette expérience de restauration était de **tester l'importance du respect de l'organisation verticale des principaux horizons pédologiques dans la restauration du FERSIALSOL initial et des communautés végétales associées**. Le travail présenté ici est centré sur le suivi de la dynamique des réserves organiques en quantité et en qualité au cours des trois premières années de mise en place des différentes modalités de restauration. L'hypothèse proposée est que la remise en place des trois horizons typiques du sol steppique est la modalité qui permettra de retrouver le plus rapidement un fonctionnement proche du sol de référence. Entre 2011 et 2013, les suivis scientifiques ont donc concernés les paramètres physico-chimiques classiques du sol, et plus spécifiquement des indicateurs relatifs à la matière organique des sols (Matières Organiques Particulaires, C facilement biodégradable), mais aussi à l'activité des microorganismes (respiration, biomasse, structure catabolique, quotient métabolique).

Les principaux résultats montrent qu'après trois années, le traitement impliquant la remise en place des trois horizons dont l'horizon organique de surface (horizon A) est celui qui se rapproche le plus du sol de référence en termes de teneur en carbone organique (fig. 1a), ou encore de biomasse et structure d'activités microbiennes du sol de la steppe de référence. En 2013, la teneur en matière organique particulière reste encore cependant

significativement différente de celle du sol steppique de référence (fig. 1b). Tous les autres traitements montrent des résultats moins intéressants à ce jour.



**Figure 1** : a/ Teneurs en C organique (g/kg de sol sec) dans les 3 modalités de sols restaurés (C, BC, ABC) et dans le sol témoin de référence (T) sur les 3 années de suivi ; b/ Teneurs en Matière Organiques Particulaires (% de sol sec) sur les 3 années de suivi. Les barres verticales représentent les écarts types et les comparaisons sont faites entre dates pour une même modalité

En conclusion, on peut dire que si la reconstitution des différents horizons et le transfert direct en période printanière ont donc été des éléments clés pour la réussite de cette opération, il n'en reste pas moins que ce travail pose de nombreuses questions aux pédologues sur (1) le rôle de l'héritage dans le matériel pédologique transféré (héritage de matière organique par exemple) sur la vitesse des processus de restauration, (2) les indicateurs pédologiques les mieux adaptés au suivi des changements dans un tel contexte par rapport au temps des processus pédologiques mais aussi, plus généralement, (3) sur la notion de patrimonialité des sols.



## Nature biochimique de la matière organique du sol de prairie sous deux sources d'azote : engrais azoté synthétique sur monoculture de graminées et association luzerne-graminées

CREME Alexandra<sup>1,2</sup>, RUMPEL Cornelia<sup>2</sup>, GASTAL François<sup>1</sup>, TERRASSON Jean-Pierre<sup>1</sup>, BILLIOU Daniel<sup>2</sup>, CHABBI Abad<sup>1,2</sup>.

1 : UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères : écophysologie, INRA Poitou Charente, 86600 Lusignan. [alexandra.creme@grignon.inra.fr](mailto:alexandra.creme@grignon.inra.fr), [francois.gastal@lusignan.inra.fr](mailto:francois.gastal@lusignan.inra.fr), [jean-pierre.terrasson@lusignan.inra.fr](mailto:jean-pierre.terrasson@lusignan.inra.fr), [abad.chabbi@lusignan.inra.fr](mailto:abad.chabbi@lusignan.inra.fr).

2 : UMR IEES Paris - Sol et Eau : éco-géochimie isotopique, 78850 Thiverval-Grignon. [daniel.billiou@grignon.inra.fr](mailto:daniel.billiou@grignon.inra.fr), [cornelia.rumpel@grignon.inra.fr](mailto:cornelia.rumpel@grignon.inra.fr).

**Mots clefs** : fertilisation, matière organique du sol, association légumineuses-graminées, luzerne, engrais azoté synthétique, NIRS, sucres, lignines.

Depuis le milieu du XXe siècle les engrais azoté synthétiques (ENS) ont été largement utilisés dans l'agriculture et leur consommation a augmenté partout dans le monde pour atteindre aujourd'hui 100 Téra-grammes d'azote (N) par an. Ainsi les ENS permettent l'alimentation de 48 % de la population mondiale (Erisman et al., 2008). Cependant, les ENS génèrent une pollution de l'eau et de l'atmosphère et ils nécessitent l'utilisation de combustibles fossiles pour leur production et leur application. Une forte proportion des ENS appliqués n'est pas directement consommée par les plantes et est perdue par lessivage et seulement 17% de l'N des ENS utilisé dans l'agriculture mondiale a été consommé par les humains dans des aliments (Braun, 2007). Des concentrations excessives en nitrates des eaux ont des effets directs sur les écosystèmes menant à l'eutrophisation de l'eau et l'augmentation des émissions d'oxyde d'azote mais aussi à la volatilisation d'ammoniac dans l'atmosphère.

Dans ce contexte, la réduction de l'utilisation des ENS est une priorité scientifique et politique. Le remplacement des ENS par les légumineuses peut être une solution alternative principalement dans le système de fourrager. En effet, ces plantes sont capables de fixer le N<sub>2</sub> atmosphérique au moyen de symbiose avec les bactéries fixatrices par la fixation biologique de N<sub>2</sub> (FBN<sub>2</sub>). De nombreuses études ont montré que l'introduction de légumineuses affecte les cycles d'N et de carbone de l'agroécosystème (Carlsson and Huss-Danell, 2003; Schipanski and Drinkwater, 2012). La FBN<sub>2</sub> peut agir comme une source durable d'N dans le sol et peut compléter ou remplacer l'ajout d'ENS et soutenir la production végétale (Carlsson and Huss-Danell, 2003; Fustec et al., 2010; Rasmussen et al., 2012). En combinant les graminées avec des espèces de légumineuses, la fixation symbiotique d'N est plus efficace que dans les monocultures de légumineuses, en raison de la concurrence des plantes pour l'N du sol (Carlsson and Huss-Danell, 2003) ; en effet ces systèmes fixent 22% à 34% d'N de plus dans le sol (Schipanski and Drinkwater, 2012). Les rendements fourragers sont également intéressants, la production en matière sèche du mélange légumineuses-graminées (fertilisé ou non fertilisé) est supérieure à une monoculture de graminée fertilisé ou non fertilisé avec les ENS (Rasmussen et al., 2012; Schipanski and Drinkwater, 2012). Bien que l'introduction de légumineuses dans les systèmes fourragers ait été principalement évaluée pour les rendements de foin et l'enrichissement en N du sol, l'effet sur la composition biochimique de la matière organique du sol (MOS) et leur stockage reste à explorer.

Le but de cette étude est de caractériser l'impact de 4 années de fertilisation azotée suivant deux modes différents, sur la composition biochimique des MOS ainsi que le rendement et la qualité du foin dans une prairie. Ainsi nous comparons des monocultures de graminées (fétuque ; *Festuca arundinacea* et dactyle ; *Dactylis glomerata*) fertilisées avec des ENS à des systèmes associant légumineuses (luzerne ; *Medicago sativa* L.) et graminées. La production de foin de ces systèmes a été quantifiée et sa qualité déterminée par NIRS. La qualité des MOS a été évaluée en déterminant la composition élémentaire (C, N et P), en sucres et en lignine. Nous faisons l'hypothèse que la présence de légumineuses conduirait à une plus forte teneur en MOS.

Les premiers résultats montrent des rendements fourragers après 4 ans d'implantation supérieurs dans les mélanges luzerne-graminée à ceux des graminées fertilisées avec ENS. En revanche la composition élémentaire (C, N et P) des MOS n'est pas significativement affectée. Nous concluons que l'implantation des espèces légumineuses dans les prairies avec des systèmes d'associations légumineuses-graminées peuvent constituer une alternative efficace à l'utilisation de fertilisants azotés.

Braun, E. (2007). Reactive Nitrogen in the Environment: Too Much Or Too Little of a Good Thing (UNEP/Earthprint).

Carlsson, G., and Huss-Danell, K. (2003). Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant Soil* 253, 353–372.

Erismann, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z., and Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat. Geosci.* 1, 636–639.

Fustec, J., Lesuffleur, F., Mahieu, S., and Cliquet, J.-B. (2010). Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 57–66.

Rasmussen, J., Sørensen, K., and Eriksen, J. (2012). N<sub>2</sub>-fixation and residual effect of four legume species and four companion grass species.

Schipanski, M.E., and Drinkwater, L.E. (2012). Nitrogen fixation in annual and perennial legume-grass mixtures across a fertility gradient. *Plant Soil* 1–13.

## Effet à long terme du travail du sol et de la fertilisation phosphatée sur les formes du phosphore déterminées par spectroscopie RMN-<sup>31</sup>P

ABDI Dalel<sup>1,3</sup>, J. CADE-MENUN Barbara<sup>2</sup>, ZIADI Noura<sup>3</sup> et PARENT Léon-Étienne<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Département des sols et de génie agro-alimentaire, Université Laval, Québec, QC, Canada, dalel.abdi.1@ulaval.ca; leon-étienne.parent@fsaa.ulaval.ca

<sup>2</sup> : Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Swift Current, SK, Canada, barbara.cademenu@agr.gc.ca

<sup>3</sup> : Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Québec, QC, Canada, noua.ziadi@agr.gc.ca

**Mots clés** : phosphore, labour, fertilisation, RMN-<sup>31</sup>P

Comparé au labour conventionnel (LC), le semis direct (SD) favorise l'accumulation du phosphore (P) soluble dans la couche superficielle du sol, et par conséquent, son transport vers les cours d'eau par ruissellement. La présente étude vise à déterminer l'effet du travail du sol et de la fertilisation phosphatée sur la distribution des formes du P dans le profil du sol, caractérisées par la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire du <sup>31</sup>P (RMN-<sup>31</sup>P).

L'étude a été menée au Québec, Canada, sur un loam argileux de la série St-Blaise (Gleysol humique orthique) sous rotation maïs-soja établie depuis 1992. L'essai comprend deux traitements répétés quatre fois: le travail du sol (SD et LC) appliqué aux parcelles principales, et neuf combinaisons de 3 doses d'azote (0, 80 et 160 kg N ha<sup>-1</sup>) et de 3 doses de P (0, 17.5, et 35 kg P ha<sup>-1</sup>) apportées uniquement à la phase maïs de la rotation en parcelles secondaires. Seules les parcelles dans trois blocs recevant les doses 0 et 35 kg P ha<sup>-1</sup> avec la dose 160 kg N ha<sup>-1</sup> ont été retenues pour cette étude. Les échantillons de sol (n = 36) ont été prélevés à l'automne 2010 dans les couches 0-5 cm, 5-10 cm et 10-20 cm. Tous les échantillons ont été analysés pour leur teneur en P total (Nelson 1987) et en P extrait au Mehlich 3 (P<sub>M3</sub>, Mehlich 1984). La spectroscopie par RMN-<sup>31</sup>P a été utilisée par la suite pour caractériser les formes ioniques et moléculaires du P dans chaque échantillon de sol (Cade-Menun et Preston 1996).

Contrairement aux sols labourés, le semis direct a favorisé l'accumulation d'orthophosphates inorganiques et de P<sub>M3</sub> dans la couche superficielle du sol. Le semis direct a aussi contribué à la stratification des orthophosphates diesters à la surface du sol, alors que les orthophosphates monoesters s'accumulaient préférentiellement en profondeur. La stratification de ces formes inorganiques et organiques du P dans le profil des sols non labourés est due probablement à l'amoncellement de l'engrais phosphaté non dissous suite à une mauvaise incorporation, et à la minéralisation des résidus de cultures accumulés à la surface. Ces résultats confirment ceux de Cade-Menun et al. (2010) et de Messiga et al. (2012) montrant que le semis direct entraîne dans le sol des changements biogéochimiques qui favorisent l'accumulation du P sous sa forme soluble laquelle est sujette au transport par ruissellement vers les eaux de surface.

### Références

Cade-Menun, B.J., Carter, M.R., and James, D.C. 2010. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: A phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study. *Journal of Environmental Quality* 39, 1647-1656.

- Cade-Menun, B.J., and Preston, C.M. 1996. A comparison of soil extraction procedures for  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy. *Soil Science* 161, 770–785.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15, 1409–1416.
- Messiga, A.J., Ziadi, N., Morel, C., Grant, C., Tremblay, G., Lamarre, G., and Parent, L-É. 2012. Long term impact of tillage practices and biennial P and N fertilization on maize and soybean yields and soil P status. *Field Crops Research* 133, 10–22.
- Nelson, N.S. 1987. An acid-persulfate digestion procedure for determination of phosphorus in sediments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 18, 359–369.

## **Restauration du compartiment sol des écosystèmes rivulaires de l'estuaire de Seine : expérimentations visant à simuler un régime de perturbation et de contraintes liés aux crues.**

**MCHERGUI Chokri**<sup>1</sup>, LANGLOIS Estelle<sup>1</sup>, AUBERT Michaël<sup>1</sup>, AKPA-VINCESLAS Marthe<sup>1</sup>, CHAUVAT Matthieu<sup>1</sup>, BUREAU Fabrice<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> : ECODIV-EA 1293, Normandie Univ, Fédération de Recherche SCALE-FED 4116, Université de Rouen, bâtiment IRESE A, place Emile Blondel, 76821 Mont Saint Aignan cedex, [Chockri.Mchergui@univ-rouen.fr](mailto:Chockri.Mchergui@univ-rouen.fr)

Les études menées dans les secteurs les moins anthropisés des hydrosystèmes fluviaux européens (Loire, Rhône, Garonne, Rhin et Danube) ont montré la grande diversité biologique des écosystèmes alluviaux constitutifs de la plaine alluviale mais aussi leurs multiples fonctions écologiques (Amoros et Petts, 1993 ; Schnitzler-Lenoble, 2007 ; Barnaud et Fustec, 2007). Compte tenu de leur position au sein du lit majeur, les sols des plaines alluviales constituent le lieu de passage privilégié des flux d'eau et de matière entre les écosystèmes connexes et le fleuve (Pinay et al., 1990 ; Guenat et al., 2003). Ils interviennent ainsi dans la régulation des échanges d'eau et de matière mais aussi des pollutions diffuses par l'azote et le phosphore et influencent corrélativement la qualité des eaux de la nappe phréatique (Sanchez Pérez et al., 1991 ; Piégay et al., 2003). Ces fonctions en rapport avec les cycles biogéochimiques, combinées à la fonction de support de la production primaire, placent les sols de la plaine alluviale au centre des questionnements actuels sur les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes alluviaux. Corrélativement, la prise en compte de cette multifonctionnalité des sols constitue un enjeu majeur dans la compréhension des possibilités de restauration des écosystèmes alluviaux les plus dégradés, notamment des estuaires.

L'estuaire de la Seine qui s'étend de Rouen au Havre est caractérisé par une mosaïque de milieux humides (vasières, roselières, prairies humides, tourbières...) et forme un ensemble écologique de première importance à l'échelle européenne. Par ailleurs, il est occupé par de vastes complexes industrialo-portuaires qui impactent le fonctionnement du système estuarien. Les aménagements lourds menés, depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, sur l'estuaire de la Seine ont ainsi impacté les écosystèmes rivulaires en les déconnectant du fleuve (Alard 2002; Chabrerie et al 2001; Guézennec 1999). Dans un tel contexte, on peut se demander si l'état actuel des berges anthropisées de l'estuaire de Seine nécessite et autorise, la restauration d'un état et d'un fonctionnement considérés comme écologiquement acceptables pour des écotones rivulaires.

Le travail présenté vise à (1) **diagnostiquer l'état actuel du compartiment sol des écosystèmes rivulaires de la Basse Vallée de Seine en fonction de leur degré de connectivité au fleuve** et (2) **suivre leurs potentialités en terme de capacités épuratrices vis-à-vis de l'azote lors d'expérimentations en microcosmes visant à simuler un régime de perturbation et de contraintes liés aux crues.**

Pour répondre au premier objectif, nous avons utilisé une démarche combinant **une approche descriptive** (description des horizons constitutifs des profils de sol et de leurs propriétés physico-chimiques respectives) avec **une approche fonctionnelle** (mesures *in*

*situ* et tests en conditions contrôlées au laboratoire) sur des sols représentatifs d'un degré de connectivité au fleuve des écosystèmes rivulaires des secteurs intermédiaire et amont de l'estuaire de Seine. Les résultats ont montré que :

- La majorité des sols rencontrés sur les berges de la Seine appartiennent à la catégorie des **REDUCTISOLS fluviques carbonatés**, et sont conditionnés par une durée plus ou moins prolongée d'engorgement en eau. Cette approche ne permet pas de faire la différenciation entre les sites rivulaires selon leurs degrés de connectivité au fleuve.
- Pour un même type de sol (**REDUCTISOL**), le fonctionnement actuel est différent selon le régime d'inondation. Le fonctionnement actuel des sols est modifié par la déconnexion au fleuve. Le degré de perturbation et d'anthropisation peut être estimé par la mesure de paramètres fonctionnels. Ces paramètres pourraient servir d'indicateurs d'aide à la décision pour le choix des sites à restaurer en indiquant ceux dont les sols possèdent encore un fonctionnement actuel offrant des potentialités de restauration.

Pour répondre au second objectif, nous avons employé une démarche qui consiste à combiner la mesure de l'**activité biologique** (via les communautés bactériennes) avec la mesure de différents **descripteurs fonctionnels** (potentiel redox, dénitrification) pour évaluer le succès de cet essai expérimental de restauration. Les résultats ont montré que les variations de niveau d'eau journalière liée aux marées constituent un facteur de contrôle important de la **dénitrification** et des **communautés bactériennes** (dénitrifiantes vs sulfato-réductrices).

Les résultats de ce travail permettent la mise en perspective des possibilités de restauration dans un système estuarien fortement anthropisé.

## Le système de cultures modifie le Réservoir Utilisable d'horizons profonds de sols en une décennie

COUSIN Isabelle<sup>1</sup>, BOURGEOIS Florian<sup>1</sup>, GAILLARD Hervé<sup>1</sup>, LE BAS Christine<sup>2</sup>, CHABBI Abad<sup>3</sup>, DOUSSAN Claude<sup>4</sup>

<sup>1</sup> : UR0272 SOLS, INRA Val-de-Loire, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, Isabelle.Cousin@orleans.inra.fr

<sup>2</sup> : US1106 Infosol, INRA Val-de-Loire, 2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001, Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2

<sup>3</sup> : UR0004 P3F, INRA, 150 route le Chêne, CS 80006, 86600 Lusignan

<sup>4</sup> : UMR1114 EMMAH, INRA Domaine Saint-Paul, 228 route de l'Aérodrome CS40509 84914 Avignon Cedex 9

### Introduction

A l'interface entre atmosphère et sous-sol profond, la zone racinaire joue un rôle majeur dans la régulation des flux d'eau entre les grands compartiments : eaux souterraines / de surface / atmosphère (drainage, ruissellement, évapotranspiration). Ce rôle de régulateur mais également de support de croissance des plantes est fortement dépendant des propriétés hydriques du sol. À contrario, les racines se développant dans ce sol peuvent en modifier la structure, à la fois dans la couche labourée mais également dans les horizons plus profonds et, par conséquent, pourraient en modifier les propriétés, en particulier hydriques. Pour évaluer cette proposition, le travail présenté ici repose sur un double objectif: d'une part, il s'agit d'évaluer le Réservoir Utilisable (RU) des sols, notamment dans l'horizon profond non atteint par le travail du sol, sur les sols de différentes parcelles d'un même site expérimental pour lequel des successions culturales différenciées ont été mises en place depuis plusieurs années ; d'autre part, il s'agit de renseigner un modèle de culture avec les valeurs de RU ainsi déterminées, afin d'évaluer leur effet sur quelques caractéristiques agronomiques et environnementales.

### Site d'étude et mesures

L'étude a été menée sur le site de Lusignan (86) du SOERE ACBB (Agro-écosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité). Les sols du SOERE sont des Brunisols saturés développés sur une argile rubéfiée, sur lesquels sont installés des blocs expérimentaux de 10 ares, où sont conduits cinq types de successions culturales, des prairies – fauchées tous les 3, 6 ou 20 ans – et des rotations maïs, blé, orge, en alternance ou non avec ces prairies. Nous étudions dans ce projet quatre types de successions culturales (T1, T2, T3, T4, voir tableau ci-dessous), installées en 2005, et sur lesquelles nous avons réalisé des prélèvements de sols en novembre 2012, soit 8 ans après l'installation du dispositif.

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
T1	Cultures céréalières	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2
T2	Prairie 3ans, fauche et apport d'Azote	c1	c2	c3	prairie 3ans			c1	c2	c3		
T3	Prairie 6ans, fauche et apport d'Azote	prairie 6ans						c1	c2	c3		
T5	Prairie 20ans, fauche et apport d'Azote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Les prélèvements ont été effectués en novembre 2012, après 8 ans de culture contrôlée, dans des conditions proches de la capacité au champ, c'est-à-dire au moment de l'équilibre entre les forces de gravité et les forces capillaires exercées par les particules du sol. Des

blocs de sol non perturbés ont été prélevés dans l'horizon de surface L, entre 5 et 25 cm de profondeur, et dans l'horizon sous-jacent S, entre 35 et 45 cm de profondeur, dans des conditions proches de la capacité au champ. Au laboratoire, des agrégats de 3 cm de côté ont été séparés des blocs, puis équilibrés dans des presses à membrane de Richards, aux potentiels hydriques suivants : -100 hPa, -330 hPa, -500 hPa, pour représenter la capacité au champ et -15800 hPa, -16800 hPa pour représenter le point de flétrissement permanent. Cette gamme de valeurs de potentiels pour représenter les points caractéristiques de rétention d'eau reflète la variabilité des estimations de l'eau utilisable par les plantes considérée par des pédologues et des écophysiolgistes. Différentes valeurs de RU peuvent ainsi être calculées.

La modélisation est réalisée à l'aide du logiciel STICS ; le support de la modélisation est un profil de sol représentatif du site de Lusignan constitué de quatre horizons. On modélise la croissance d'une culture de blé succédant à une culture de maïs. Les paramètres agronomiques du modèle sont choisis parmi des paramètres classiques dans la région (blé semé le 08/11/1999 et récolté en juin/juillet 2000, à maturité physiologique), avec un itinéraire technique classique dans la région, constitué de quatre apports d'azote au cours du cycle de croissance. La simulation est initialisée au 01/10/1999 (sol nu suite à la récolte de maïs), et terminée au 30/09/2000 (sol nu suite à la récolte de blé).

### **Résultats et discussion**

Nous analysons nos résultats expérimentaux sur la base des trois hypothèses suivantes : H1- la teneur en eau au point de flétrissement ne dépend pas de la structure du sol et n'est pas affectée par les traitements entre parcelles ; H2- la teneur en eau à la capacité au champ dépend de la structure du sol et peut donc être affectée par les traitements entre parcelles. H3- l'installation d'une culture pérenne favorise la structuration de l'horizon S par son activité racinaire et augmente la teneur en eau à la capacité au champ. Si H1 et H2 se trouvent confirmées par nos données expérimentales, ce n'est pas le cas de H3 qui s'avère éronnée : la teneur en eau à la capacité au champ – et par conséquent le Réservoir Utilisable - est plus élevée sur les traitements T2 et T3, où prairies et cultures alternent, que sur les traitements T1 et T5, conduits en rotation céréalière ou en prairie permanente. Les données de modélisation montrent que cette augmentation du RU améliore le rendement de quelques quintaux à l'hectare (moins de 4 quintaux cependant) et diminue significativement - de 17 mm - la quantité d'eau drainée annuelle à la base du sol. La modélisation met également en évidence la forte influence de la valeur du RU sur la quantité d'eau drainée à la base du sol, ce qui milite pour une évaluation précise, sur la base de données de terrain, des potentiels auxquels il convient de fixer la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

### **Conclusion et perspectives**

L'alternance de cultures céréalières et de prairies augmente le RU des horizons L et S des sols du site ACBB de Lusignan. L'évolution éventuelle du réservoir utilisable dans les horizons les plus profonds reste cependant à analyser, de même que des études doivent être menées sur d'autres sites pour confirmer ces premiers résultats. On pourrait alors envisager de gérer les successions culturales pour atténuer certaines des conséquences du changement climatique, aussi bien sur les cultures - en diminuant les stress hydriques – que d'un point de vue hydrologique - en modifiant les processus de ruissellement, d'infiltration et de recharge des nappes.



## Réponses d'une variété de riz interspécifique (*Oryza sativa* × *Oryza glaberrima*) aux applications de phosphate et de magnésium sur Ferralsol acide de la zone forestière humide en Côte d'Ivoire

YAO G. F.<sup>1\*</sup>, KONE B.<sup>1</sup>, YOBOUE K. E.<sup>1</sup>, KASSIN K. E.<sup>2</sup>, KOUADIO K. K. H.<sup>1</sup>, KOUASSI K. N.<sup>3</sup> et YAO-Kouamé A.<sup>1</sup>

1. Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Département des Sciences du Sol, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.
2. Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Laboratoire Central, Sols, Eau et Plantes (LCSEP), 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire.
3. Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Laboratoire Central de Biotechnologies (LCB), 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

*Auteurs pour correspondance : guyfernannd\_yao@yahoo.fr*

### Résumé

L'acidité des Ferralsols en zone forestière humide de la Côte d'Ivoire handicape la riziculture pluviale par la déficience en P ( $< 1,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) en dépit de l'application de fertilisants phosphatés. Deux essais en pots ont été conduits durant 3 mois à partir de mars 2012 à Adiopodoumé, dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire, en plein air, pour optimiser la fertilisation phosphatée en riziculture pluviale sur sols acides. Le phosphate naturel du Togo et le sulfate de magnésium ont été appliqués respectivement aux doses de 0, 25, 50 et 75 kg P  $\text{ha}^{-1}$  ainsi que de 0, 25, 50 et 75 kg Ca  $\text{ha}^{-1}$  en combinaison avec N ( $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) et K ( $50 \text{ kg K ha}^{-1}$ ), en fumure de fond. La variété de riz interspécifique NERICA 5 a été semée dans un dispositif en split-plot. Les résultats montrent des réponses quadratiques du rendement en grain de riz de façon significative avec des rendements de 2 – 5 t  $\text{ha}^{-1}$ . La prise en compte du ratio Ca : Mg s'est avérée nécessaire pour une stratégie de fertilisation en P et Mg. Les doses de 49 kg P  $\text{ha}^{-1}$  et 29 kg Mg  $\text{ha}^{-1}$  ont été recommandées pour une riziculture durable avec un ratio P : Mg d'environ 1 : 2 lorsque Ca : Mg est de 1 : 1 comme équilibre ionique.

**Mots clés :** Ferralsol acide ; phosphore ; magnésium ; équilibres ioniques ; riziculture pluviale ; Côte d'Ivoire.

## Variation du phosphore biodisponible à l'interface sol-racine de *Olea europaea* L. après application localisée d'engrais phosphatés

**BOUDIAF NAIT KACI Malika, MOUAS BOURBIA Sophia, ISSAOUN Djamila, DERRIDJ Arezki**

<sup>1</sup> Laboratoire Ressources Naturelles, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie [boudiafmalika@yahoo.fr](mailto:boudiafmalika@yahoo.fr)

L'olivier est l'une des espèces rustiques qui connaissent un regain d'intérêt en Algérie. Les agrosystèmes à fortes contraintes sont souvent appauvris en éléments nutritifs comme c'est souvent le cas des oliveraies de Kabylie, la gestion de la rhizosphère dans l'objectif d'un développement durable du système plante-sol pourrait être l'une des approches pour optimiser l'utilisation efficace de la ressource sol. La localisation des nutriments afin d'augmenter la biodisponibilité et diminuer les apports d'engrais (Zhang et al., 2010), pourrait se révéler une alternative efficace et intéressante pour ces oliveraies. Sachant que la situation socio-économique et la topographie ne permettent pas aux oléiculteurs de la région de pratiquer une agriculture conventionnelle. Il est possible de maximiser l'absorption du phosphore et l'azote à partir de zones de sols enrichies en ces éléments dans l'environnement racinaire ainsi que la prolifération racinaire (Robinson, 2001 ; Hodge et al., 2009). La biodisponibilité du phosphore, élément très peu mobile dans les sols, est améliorée dans la rhizosphère par les processus liés à l'activité racinaire et aux microorganismes qui lui sont associés. De plus l'importance des changements du sol à proximité de la racine dépend considérablement de l'espèce végétale aussi bien que des caractéristiques initiales du sol. L'expérience sur le terrain a été menée pour caractériser les effets d'apports localisés de doses croissantes de phosphore en combinaison avec un apport d'azote et de potassium sur la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère de l'olivier et sur le statut nutritionnel des arbres. La station d'étude est située à Tizi-Rached en Kabylie, Nord de l'Algérie. C'est un verger d'une cinquantaine d'années, de variété *chemlal*. Le sol est un Cambisol sur grés. La texture est limono argilo sableuse. Le dispositif a été mis en place en février 2005. Le seul facteur variable est le phosphore, tous les autres facteurs de croissance étant aussi égaux que possible, avec 4 traitements à raison de 4 répétitions. L'objectif de cette étude est de déterminer si cette application localisée d'engrais affecte i) certaines propriétés chimiques et phosphatées de la rhizosphère et ii) le statut nutritionnel de l'oliveraie. Les sols diffèrent significativement par leur pH, qui est faiblement acide (5,8 - 6,5), le carbone organique diminue significativement avec toutes les doses et varie de 4,26 à 13,26 %). Le dosage du phosphore total a révélé une augmentation systématique et très hautement significative des concentrations au niveau des sols globaux comparativement aux sols rhizosphériques avec l'apport localisé d'engrais phosphatés. Les résultats du phosphore assimilable dosé avec la méthode Olsen sont faibles, et varient de 1,12 à 4,00 ppm de P. Nous constatons une augmentation très hautement significative des teneurs en phosphore assimilable au niveau des sols traités avec les différentes doses d'engrais par rapport aux sols témoin. Des corrélations significatives et positives relient les formes de phosphore dans le sol global avec celles de la rhizosphère.

Mots clés : rhizosphère – phosphore – *Olea europaea* L.– fertilisation localisée.

## **Références bibliographiques**

Hodge A., Berta G., Doussan C., Merchan F., Crespi M. 2009. Plant root growth, architecture and function. *Plant Soil* 321, 153-187.

Robinson D. 2001. Root proliferation, nitrate inflow and their carbon costs during nitrogen capture by competing plants in patchy soil. *Plant and Soil* 232, 41-50.

Zhang F., Shen J., Zhang J., Zuo Y., Li L., Chen X. 2010. Rhizosphere Processes and Management for Improving Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity: Implications for China. *Advances in Agronomy*, 107, 1-32.

## **Biomasse racinaire et nappe profonde d'interfluve. Cas d'un bassin versant du Nord-Est thaïlandais**

**MONTOROI Jean-Pierre<sup>1</sup>, CHINTACHAO Worraphan<sup>2</sup>, CHENYAPANICH Somjai<sup>2</sup>,  
SRISUK Kriengsak<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> : UMR IESS Paris, IRD, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy, France, Jean-Pierre.Montoroi@ird.fr

<sup>2</sup> : Land Development Department, Phahonyothin Road, Chatuchak, 10900 Bangkok, Thaïland, wor\_where@hotmail.com, sc\_somjai@hotmail.com

<sup>3</sup> : Ground Water Research Center, Khon Kaen University, 40002 Khon Kaen, Thailand

### **Introduction**

Le nord-est de la Thaïlande (NT) est dominé par un paysage de collines peu élevées dont l'altitude varie de 170 m (bas-fonds) à 240 m (terres hautes). Les bas-fonds sont le domaine des rizières pluviales et inondées (riz paddy) qui sont actuellement très dégradées par la salinité. La forêt à *Dipterocarpus* a originellement occupé les hautes terres, mais a été fortement détruite au cours de la dernière moitié du XXe siècle. La superficie forestière a diminué de 70.400 km<sup>2</sup> en 1961 à 21.370 km<sup>2</sup> en 1993, c'est-à-dire de 41% à 13% de la superficie du NT (Wannakomol, 2005). La déforestation intensive a favorisé le développement des cultures de rente comme le manioc, la canne à sucre, le kenaf et le maïs. Il est largement admis que le changement d'utilisation des terres a conduit à un changement radical de l'équilibre hydrologique dans le NT, c'est-à-dire une remontée des eaux souterraines due à l'augmentation de la recharge de l'aquifère profond, une baisse de l'évapotranspiration des cultures saisonnières et une extension des contaminations salines en bas de pentes et fonds de vallées.

Les études sur l'enracinement profond des espèces arborées sont relativement limitées car les outils d'investigation accèdent à une information fragmentaire (Maeght, 2013). L'objet de la présente étude est de (i) caractériser minéralogiquement les formations superficielles profondes le long d'une toposéquence ; (ii) de détecter des traces de biomasse racinaire dans le substrat géologique.

### **Matériel et méthodes**

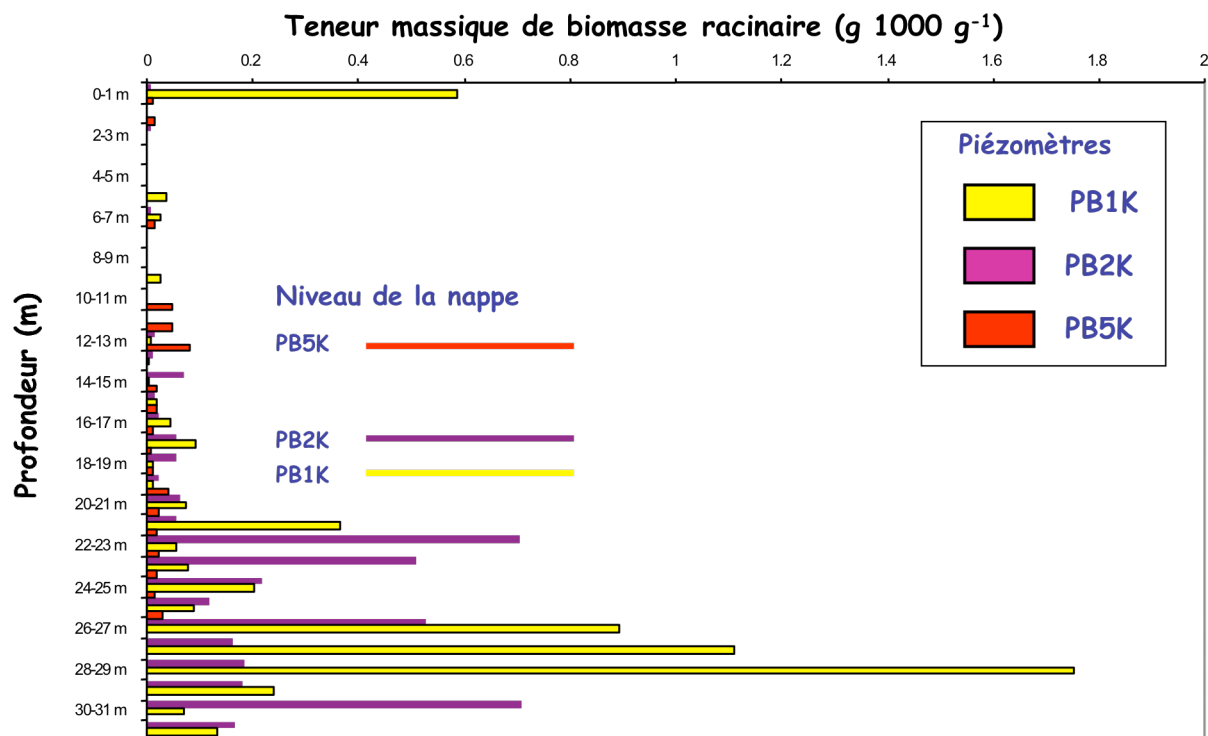
Situé à proximité du village de Ban Nong Tun et à environ 20 km au sud-ouest de la ville de Khon Kaen, dans le district de Phra Yun, le bassin versant étudié a une superficie de 2 km<sup>2</sup>. Le climat tropical à saisons contrastées est influencé par la mousson asiatique et se distingue par une saison des pluies (de mai à Octobre) avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1.212 mm et 107 jours de pluie par an en moyenne (Wada, 1994) et une saison sèche (de Novembre à Avril). Les sols de la toposéquence sont classés comme Typic Haplustult (au sommet), Arenic Paleustalfs (du haut au bas de la pente) et Typic Paleustult (bas de pente). Les teneurs en argile et en limon augmentent avec la profondeur allant de 3 % à 28 % pour la fraction argileuse et de 5,6 à 14,3 % pour la fraction limoneuse. La couche de sable présente des taches d'oxyde de fer qui attestent de la mobilité de fer dans des conditions réductrices ( Wiriakitnateekul , 2009).

A l'occasion de trois forages (vis hélicoïdale) pour l'implantation de piézomètres profonds (PB1K, PB2K et PB5K), des prélèvements de matériaux perturbés ont été réalisés tous les mètres en vue d'une analyse minéralogique par diffractométrie RX. Sur chaque échantillon, la biomasse racinaire a été pesée.

### **Résultats**

Le quartz, la smectite et la kaolinite sont les minéraux prédominants de la fraction argileuse avec un peu de l'illite. Le quartz est l'élément majeur de la fraction non-argileuse avec une

petite quantité de feldspath et des traces de goethite. La figure suivante indique la distribution de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur avec la position de la nappe au moment des forages de piézomètres.



### Conclusion

En caractérisant minéralogiquement les sols et le substrat géologique d'un bassin versant anciennement occupé par de la forêt, de la biomasse racinaire a été observée et quantifiée à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. La proximité actuelle d'une nappe d'eau souterraine profonde laisse à penser que les racines ont trouvé un milieu favorable pour l'alimentation hydrique et nutritive des espèces arborées. Le bon état de conservation des racines indiquent que la dégradation microbiologique de la matière organique a été très ralentie voire arrêtée dans de telles conditions. La biomasse racinaire profonde est sans doute généralisée dans l'environnement forestier dégradé par la déforestation dans la mesure où des discontinuités texturales n'empêchent pas le cheminement des racines en profondeur. C'est le cas des interfluves où les sols sont peu profonds. Des questions restent sans réponse sur l'origine exacte des racines que l'on attribuerait à l'ancienne forêt originelle. Des études spécialisées devront être menées pour lever ces interrogations.

### Bibliographie

- Maeght J.L., Rewald B., Pierret A., 2013. How to study deep roots—and why it matters. *Frontiers in Plant Science, Functional Plant Ecology*, 4, 299 : 1-14.
- Wada H, Wichaidit P, Pramojane P, 1994. Salt-affected area in Northeast Thailand. Nature, properties and management. Technical paper 15, (Agric. Dev. Res. Center in NE Thailand-Japan Int. Coop. Agency).
- Wannakomol A, 2005. Soil and groundwater salinization problems in the Khorat plateau, NE Thailand - Integrated study of remote sensing, geophysical and field data. Doctorate Thesis, (Berlin, Germany).
- Wiriyakitnatekul W, Hammecker C, Anusontpornperm S, Boonrod S, 2009. Clay mineralogy of soils derived from sandstone along a toposequence in Northeast Thailand. In "Proceedings of 14<sup>th</sup> International Clay Conference » (Castellaneta Marina, Italy).

## **Comparaison d'effets des différents types d'engrais biologiques phosphates sur une culture légumière pratiquée sur un sol ferrallitique**

**ANDRIAMANIRAKA Harilala <sup>(1)</sup>, ANDRIAMPENOMANANA Samoelina Vononantenaina <sup>(2)</sup>, FALINIRINA Marie Virginie <sup>(3)</sup>, NASOLONJANAHARY Tsilavo Hasina <sup>(1)</sup>**

(1) : Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Agriculture, BP 175 Ankatso Antananarivo 101, jharilala@gmail.com

(2) : Société GUANOMAD Madagascar, BP 3438 Antananarivo 101, aina.samoelina@gmail.com

(3) : Université de Fianarantsoa, Institut Supérieur de Technologie, Ambositra 306, mdgvirginie1@gmail.com

### **Résumé**

Face aux problèmes de fertilité des sols ferrallitiques de Madagascar sur la carence en phosphore et le souci de la dégradation de l'environnement, la fertilisation avec des engrais biologiques phosphatés est une des solutions incontournables. Actuellement à Madagascar, bon nombre d'engrais biologiques phosphatés commencent à apparaître sur les marchés agricoles. Face à cette situation, notre projet de recherche a fait une expérimentation agronomique avec différents types d'engrais biologiques phosphatés sur des cultures maraîchères. L'objectif est de comparer l'efficacité de ces différents engrais. Un essai sur la variété du haricot vert appelée « monel » a été réalisé sur un sol ferrallitique à Anevoka dans le district de Moramanga. Le haricot vert a été identifié comme plante qui intéresse les paysans locaux pour les activités génératrices des revenus. Lors de cette expérimentation, quatre types d'engrais biologiques phosphatés (guanomad, guanosol, guanoferti-N et guanotsar) ont été testés et ils ont été comparés avec le témoin sans fertilisant ou témoin absolu et le témoin à fumier. Chaque type d'engrais était apporté à trois doses croissantes dont 400, 500 et 600 kg.ha<sup>-1</sup> pour le guanomad, 400, 600 et 800 kg.ha<sup>-1</sup> pour le guanosol et 300, 400 et 600 kg.ha<sup>-1</sup> pour le guanoferti-N et le guanotsar. Un témoin absolu et un témoin avec un compost de 5 t.ha<sup>-1</sup> ont été mis en place dans le dispositif expérimental à trois répétitions. Les résultats ont montré que l'apport des engrais biologiques phosphatés améliore le rendement même s'il y avait des dégâts causés par le passage du cyclone et l'attaque de la mouche du haricot. Le rendement diminue avec la dose pour le guanotsar tandis qu'il augmente avec la dose croissante pour les autres types d'engrais. Le meilleur rendement de 2,53 t.ha<sup>-1</sup> est obtenu avec le guanotsar à faible dose (300 kg.ha<sup>-1</sup>) alors qu'à 600 kg.ha<sup>-1</sup> le rendement enregistré était de 1,90 t.ha<sup>-1</sup>. En ce qui concerne le guanoferti-N, le rendement croît aussi avec la dose. Si la dose apportée est augmentée à 200 kg.ha<sup>-1</sup> et 100 kg.ha<sup>-1</sup> par rapport à la dose faible (300 kg.ha<sup>-1</sup>), on a une augmentation de rendement respectivement de 0.4 t.ha<sup>-1</sup> et 0.6 t.ha<sup>-1</sup>.

Pour le guanosol, le rendement en gousse obtenu est proportionnel à la dose apportée. En augmentant la dose à  $200 \text{ kg.ha}^{-1}$ , le rendement augmente de  $0.5 \text{ t.ha}^{-1}$ .

Le guanomad donne les mêmes résultats à faible et à forte dose ( $1,55 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Mais, le rendement est élevé ( $1,81 \text{ t.ha}^{-1}$ ) à la dose intermédiaire ( $500 \text{ kg.ha}^{-1}$ ). Par rapport à cette dernière, si on augmente ou diminue la dose à  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$ , on a une diminution de rendement à raison de  $0.26 \text{ t.ha}^{-1}$ .

Cette recherche nous a pu conclure que l'effet d'un engrais biologique phosphaté sur le rendement dépend de ses caractéristiques chimiques et non pas de la quantité apportée.

**Mots clés :** Expérimentation agronomique, fertilité des sols, efficacité, rendement.

## Stock de C et disponibilité des nutriments sous l'effet de changement de mode d'usage des terres à Madagascar

**SANEHO Haritiana Gabriel<sup>2</sup>, LEMARAINA Julie Fabuola<sup>2</sup>, RAZAFIMAHATRATRA Hery<sup>1,5</sup>, RABENARIVO Michel<sup>2</sup>, CHEVALLIER Tiphaine<sup>3</sup>, RAFOLISY Tovo<sup>1</sup>, RAZAFIMANANTSOA Marie-Paule<sup>1</sup>, MIASA Eustache<sup>2</sup>, JAHIEL Michel<sup>4</sup>, Thierry BECQUER<sup>3</sup>, RABEHARISOA Lilia<sup>1,5</sup>, RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina<sup>1</sup>, ANDRIAMANANJARA Andry<sup>1</sup>, RAZAFIMBELO Tantely<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire des Radioisotopes, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP 3383, Madagascar. <tantely.razafimbelo@gmail.com>

<sup>2</sup> Institut Supérieur des Sciences, Environnement et Développement Durable (ISSEDD)-Université de Toamasina, Madagascar. <gabisaneho@yahoo.fr>

<sup>3</sup> Institut de Recherche pour le Développement, UMR Eco&Sols, 2 Place Viala, 30460 Montpellier, France

<sup>4</sup> Centre Technique et Horticole de Tamatave (CTHT), Madagascar.

<sup>5</sup> Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, BP 175 Madagascar

**Mots clés :** Changement climatique, déforestation, carbone organique du sol, agroécosystèmes, dynamique des nutriments

### Introduction

La pression anthropique sur le système forestier, qui se traduit par le changement de mode d'usage de terre, affecte la dynamique de C et des nutriments. La déforestation et l'agriculture y afférent, présentent un taux important d'émission globale de carbone atmosphérique, de l'ordre de  $3.10^9$  tonnes/an (Raunet, 2005), contribuant fortement au réchauffement climatique. Dans le contexte de changement climatique, des pratiques culturales telles que les systèmes agroécologiques peuvent contribuer à la réduction des gaz à effet de serre et à l'amélioration de la fertilité de sol. Ainsi, dans un objectif de la sécurité alimentaire et de l'atténuation de l'effet du changement climatique, l'influence du changement de mode d'usage de terre sur la variation de stock de carbone organique et des nutriments disponibles (P et N) a été étudié sur sol ferrallitique de l'écorégion Est de Madagascar.

### Méthodologies

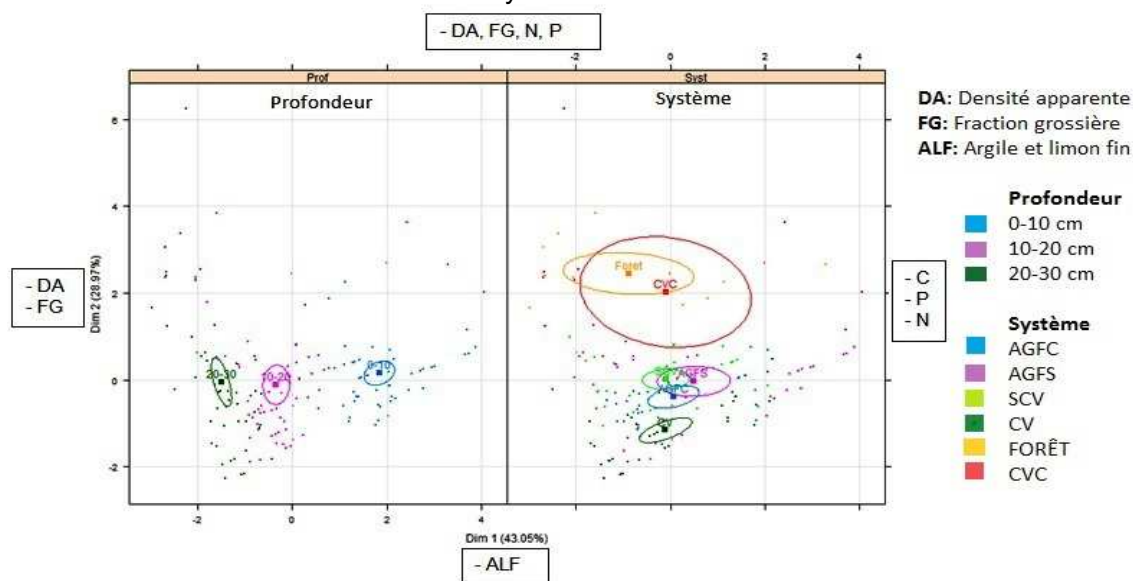
L'étude a été réalisée dans l'écorégion Est de Madagascar, dans la Région d'Analanjirifo (commune d'Ambodimanga) et la Région Atsinanana (Forêt d'Analalava Foulpointe). Les différents modes d'usage étudiés, identifiés sur la base des différentes pratiques culturales, ont été l'agroforesterie complexe (AGFC) et simple (AGFS) marquée par une association de giroflier et des cultures annuelles de riz et/ou manioc, le système sous couverture végétale (SCV), le système conventionnel CV (« Slash and burn ») localisés dans le site d'Ambodimanga et le système forestier situé dans le site d'Analalava. Les échantillons de sols ont été prélevés sur différentes profondeurs : 0-10, 10-20, et 20-30 cm avec 4 répétitions par système étudié. Les ont été analysés en termes de CO par la méthode de Walkley et Black, de P disponible par les membranes échangeuses d'anion (P résine), de N total par la méthode de Kjeldahl et de granulométrie. La densité apparente été évaluée pour dans chaque profondeur pour le calcul de stock de C et des nutriments de sol.

### Résultats

Les résultats ont montré que le mode d'usage de terre a significativement affecté la teneur ( $P = 0.03$ ) et le stock de P résine ( $P << 0.0001$ ) dans le sol. La teneur et le stock de P ont été plus élevés dans le système AGFS (avec une valeur moyenne respectives de  $6.4 \text{ mg P.kg}^{-1}$  sol et  $3.4 \text{ kg.P.ha}^{-1}$ ) comparé aux systèmes SCV ( $3.5 \text{ mg P kg}^{-1}$  et  $2.2 \text{ kgP.ha}^{-1}$ ) et CV (avec



des valeurs moyennes respectives de 3,5 mg P.ha<sup>-1</sup> et 1.9 kg.P.ha<sup>-1</sup>) quelque soit les profondeurs de sol. La teneur et le stock de N total du sol ont été également influencés de manière significative par le changement de mode d'usage. Le système AGFS et CV ont été plus élevés en termes de teneur en NT (2.7 et 2.6 mg NT.kg<sup>-1</sup> sol) par rapport au système forestier (2.0 mg NT.kg<sup>-1</sup> sol). Le mode d'usage a également affecté significativement le stock de C du sol ( $P = 0.009$ ). Le stock de C a été plus élevé dans le système AGFS (77,6 Mg C.ha<sup>-1</sup>) comparé aux systèmes CV (64,23 MgC.ha<sup>-1</sup>), forêts (56,16 MgC.ha<sup>-1</sup>) et CVC (52,66 Mg C.ha<sup>-1</sup>). La teneur en stock de C et des nutriments diminuent significativement avec la profondeur ( $P \lll 0.0001$ ). La diminution de stock de C et de nutriments suivant la profondeur peut être expliquée par l'augmentation de la densité apparente ( $P \lll 0.0001$ ) avec la profondeur du sol. Les deux sites de prélèvement se différencient par la caractéristique physique de sol notamment par le sol argileux pour le site d'Ambodimanga (AGFC, AGFS, SCV, CV) et par le sol limon argileux sableux dans la forêt d'Analalava pouvant expliquer la faible stock de C et de nutriments sous système forestier.



**Figure 1** : Représentation des stocks de C de P résine et de NT sur l'axe de composante principal suivant la profondeur et le mode d'usage de terre.

## Conclusion

De nombreux facteurs entrent en jeu dans la variation du stock C et des nutriments : l'apport en matières organiques, les cultures de rotations, les racines des plantes, l'âge d'exploitation, les textures, les DA, les fractions grossières. Les sols sableux ont des stocks de carbone plus faibles que les sols argileux (Blanchart E. et Bernoux M., 2005) ; et les taux de minéralisation de N et C sont fortement corrélés en teneurs en particules fines (Sbih et al., 2002), expliquant les faibles stocks de la forêt. Par ailleurs, en faisant les comparaisons des systèmes présents, selon les sites, nous pouvons conclure que les modes d'usages affectent les stocks en C et P du sol, dont les agroforesteries présentent en général des taux hautement significatifs, à l'inverse, les CV. Ainsi la potentialité de système agroforesterie dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre par une meilleure séquestration de C et l'amélioration de la fertilité de sol par une meilleure biodisponibilité de nutriments a été mise en évidence dans cette étude.

## Références

- Blanchart E. et Bernoux M., 2005. Déterminants des stocks de carbone des sols des petites Antilles (Martinique, Guadeloupe), alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés. IRD ; GESSOL.
- Sbih M., N'Dayegamiye et Karam A, 2002. Can. J. Soil Sci. 83: 25-33.
- Raunet M., 2005. Semis sous couvert végétal et changement climatique. CIRAD. 22p.

## Qualité des sols sous palmier à huile mature : Caractérisation de l'hétérogénéité spatiale autour du palmier.

**CARRON Marc-Philippe<sup>1</sup>, AURIAC Quentin<sup>1</sup>, SITUMORANG Elizabeth Caroline<sup>2</sup>,  
SNOECK Didier<sup>1</sup>, NUGROHO Yogo Adhi<sup>2</sup>, MARICHAL Raphaël<sup>1</sup>,  
LIWANG Tony<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> : Cirad, UPR Systèmes de pérennes, F-34398 Montpellier, France. Correspondant : marc-philippe.carron@cirad.fr

<sup>2</sup> : Plant Production and Biotechnology Division, PT SMART Tbk, Java/Indonésie.

**Introduction** : La question de la qualité des sols en plantation de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq. – 16 millions d'ha plantés) reste peu traitée en raison de l'hétérogénéité des situations au sol et de l'absence de leviers de pilotage identifiés pour la production. Cette étude s'adresse à l'hétérogénéité de la qualité du sol autour du palmier par l'analyse du biota (macrofaune, nématofaune et communautés bactériennes) et des caractéristiques physico-chimiques du sol ; l'objectif étant d'accéder à une évaluation à l'échelle de la parcelle. Les impacts de deux pratiques de fertilisation sont comparés.

**Matériel et méthodes** : L'expérimentation a été menée sur une plantation mature de palmiers à huile (24 ans) au Centre de recherche SmartRI, Libo, province de Riau/Sumatra – Indonésie. Cinq zones autour du palmier ont été définies en fonction de la couverture du sol et des applications d'engrais minéral et organiques. Deux pratiques de fertilisation ont été étudiées: "EFB" – c.à.d. l'apport d' *Empty Fruit Bunches* ou rafles (60 t/ha appliquées tous les deux ans) et "Conv" le témoin conventionnel minéral sans apport de rafles. Les sols autour de douze palmiers (1 palmier = 1 parcelle élémentaire) ont été analysés pour chaque pratique.

Des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 0-15 cm. L'échantillonnage a été fait trois mois après l'application de rafles pour l'analyse des paramètres physico-chimiques, de la macrofaune et de la nématofaune. Il a été fait six mois après l'application pour l'analyse des communautés bactériennes. L'extraction de la macrofaune a été faite selon la méthode TSBF. Celle des nématodes a été faite par élutriation suivie d'un passage actif à travers un filtre de coton (norme NF ISO 23611-4). Les communautés bactériennes, représentées par des fragments de restriction, ont été analysées en utilisant la base de données d'analyse des communautés microbiennes (mica III: <http://mica.ibest.uidaho.edu>) pour indiquer de divers genres bactériens vivant dans le sol. L'analyse a requis 1) l'extraction totale de génome et l'amplification par PCR du DNAr 16s, 2) la digestion des produits de la PCR par les enzymes de restriction *MspI* (New England Biolabs), puis 3) l'analyse des fragments.

**Résultats et discussion** : L'hétérogénéité de la couverture du sol et celle liée à l'application des engrais ont conduit à distinguer trois zones principales autour du palmier à huile (P = chemin de récolte, C = cercle à la base du stipe, W = zone d'andain) et deux zones intermédiaires (PC, CW). Une formule est proposée pour calculer une valeur moyenne

pondérées des paramètres sur la parcelle élémentaire :  $Moy = \sum(S_i \times D_i)$ ; avec  $S_i$  = (surface de la zone i) / (surface totale de la parcelle), et  $D_i$  = valeur du paramètre sur la zone i (où i = P, PC, C, CW, W).

Pour la pratique EFB, la richesse chimique est plus élevée sur les zones P et C que sur la zone W. La macrofaune, elle, est plus abondante sur les zones PC et C que sur la zone W. En comparant les deux pratiques (« Conv. » et « EFB »), l'application de rafles a induit une augmentation significative des paramètres chimiques et de la macrofaune sur P et PC.

L'impact de l'application sur zone P s'étend de manière significative jusqu'aux zones C et W pour certaines caractéristiques. Sur le plan factoriel de l'analyse en composantes principales, la densité de vers de terre est associée à l'axe 2 alors que les densités des autres taxons de la macrofaune sont associées à l'axe 1. Les points de la zone PC<sub>EFB</sub> se distinguent de ceux des autres zones EFB sur le plan factoriel. Pour la pratique Conv, les zones PC et P présentent des caractéristiques semblables, mais différentes de celles des zones C et CW qui sont elles-mêmes encore différents de celles de la zone W.

Pour la pratique Conv, la diversité bactérienne la plus élevée est dans la zone C (182 genres) comparée à la zone de W (139 genres). Pour la pratique EFB, il y a peu de différence entre les zones P, PC et C (160 à 166 genres) qui contiennent une diversité bactérienne plus élevée que la zone de W (110 genres). Pour chaque zone, la composition bactérienne diffère nettement en fonction des pratiques, avec cependant des recoupements. Les bactéries cultivables dominantes trouvées dans le sol de Conv sont : *Bacillus*, *Geobacillus*, *Thermoanaerobacter*, *Listeria*, et *Rhizobium*. Pour EFB, il s'agit de *Bacillus*, *Rhizobium*, *Listeria* and *Nostoc*. Douze fragments sont communs entre les zones PC de Conv et d'EFB et également avec la zone P d'EFB (n°60, 90, 91, 122, 123, 137, 138, 147, 262, 263, 483, 487). L'application de rafles a affecté la communauté bactérienne du sol pour la zone de P, l'augmentant de 26 nouveaux fragments : bactéries non cultivables, quelques genres bactériens cellulolitiques et d'autres participant à la fixation symbiotique de l'azote, à la dégradation de la cellulose et à la solubilisation du phosphate.

### Conclusion et perspectives :

- Nos travaux fournissent des premières données pour une approche holistique de la qualité des sols en plantation de palmier à huile mature. Des méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont proposées, particulièrement adaptées à ce type de système de culture présentant une hétérogénéité spatiale complexe et stable sur plusieurs décennies.
  - Ils montrent que l'application de rafles peut améliorer localement la fertilité globale du sol et réduire l'hétérogénéité spatiale autour de l'arbre. Elle favorise des communautés bactériennes bénéfiques à la fertilité du sol.
  - Ils conduisent à proposer pour les études de sol ultérieures de considérer trois zones dans Conv. (P+PC, C+CW, et W) et quatre zones dans des systèmes de culture type « EFB » où les rafles sont appliquées le long du chemin de récolte (P, PC, C+CW, et W).
  - Ils apportent un nouvel éclairage sur les impacts des applications de résidus organiques dans l'espace. Ils soulèvent ainsi de nouvelles questions sur la façon de gérer les pratiques de fertilisation inorganiques et organiques en regard de la qualité du sol.
- Le but à terme est d'évaluer la qualité du sol (paramètres physico-chimique et biologique) pour accompagner l'intensification écologique.

## **Accroissement de la biodisponibilité en potassium à l'interface sol-racine d'oliviers amendés avec des effluents d'huileries d'olives**

**MOUAS-BOURBIA Sophia<sup>1</sup>, BARRE Pierre<sup>2</sup>, BOUDIAF-NAIT-KACI Malika<sup>1</sup>, AIT ABDELKAOUI Sadia<sup>3</sup>, BELLABIOD Fadhila<sup>3</sup>, DERRIDJ Arezki<sup>4</sup> et VELDE Bruce<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> : Laboratoire Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO, Algérie. mouasbsophia@yahoo.fr

<sup>2</sup> : Laboratoire de Géologie, UMR 8538 CNRS-ENS, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France. pierre.barre@normalesup.org

<sup>3</sup> : Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO,

<sup>4</sup> : Laboratoire de Production, Amélioration & Protection des Végétaux & des Denrées Stockées, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO, Algérie. aderridj@yahoo

L'objectif de ce travail a été d'évaluer l'impact d'effluents d'huileries d'olives sur les propriétés chimiques et la biodisponibilité du potassium dans la rhizosphère d'oliviers de la variété Chemlal. Les analyses chimiques et potassiques ont porté sur trois fractions de sol : le sol global, le sol rhizosphérique et le rhizoplan. Le potassium foliaire est également dosé. Les résultats obtenus nous ont permis de déterminer deux effets, à savoir un effet dose lié à l'apport d'effluents d'huileries d'olives et un effet lié à l'activité de la racine de l'olivier. Ainsi, sous l'effet d'apports de 3 doses d'effluents d'huileries d'olives, une augmentation significative ( $p \leq 0,05$ ) de la conductivité électrique CE, de la CEC, du potassium soluble dans l'eau (KS), du potassium extractible à l'acétate d'ammonium  $N(KNH_4^+)$  et du  $KHNO_3$  est observée au niveau du sol global avec l'accroissement des doses d'épandage. Il est intéressant de noter que l'activité de la racine de l'olivier diminue significativement ( $p \leq 0,05$ ) le pH et la conductivité électrique du sol rhizosphérique et du rhizoplan toutes doses confondues. De plus, un accroissement significatif ( $p \leq 0,05$ ) du carbone organique, du KS et du  $KNH_4^+$  est mesuré à proximité de la racine comparativement au sol global. L'interaction significative et positive ( $p \leq 0,05$ ) de l'épandage d'effluents d'huileries d'olives et de l'activité de la racine de l'olivier sur la teneur en  $KNH_4^+$  se traduit par un accroissement du  $KNH_4^+$  de la rhizosphère pour la dose d'épandage d'effluents d'huileries d'olives la plus élevée. Ainsi, le  $KNH_4^+$  atteint 51.87mg/100g de terre dans la rhizosphère d'oliviers amendé avec la dose de 200 m<sup>3</sup>/ha, ce qui est au dessus des besoins de l'olivier en potassium assimilable. Les niveaux de potassium foliaire montrent que les oliviers présentent un statut nutritionnel potassique adéquat. Des apports croissants d'effluents d'huileries d'olives associés à l'activité des racines ont permis d'améliorer non seulement la fertilité du sol global mais

aussi la biodisponibilité du potassium à proximité immédiate de la racine de l'olivier.

**Mots clés** : rhizosphère- effluents d'huileries d'olives – potassium- oliviers.

## **Boucles de rétroaction entre composition fonctionnelle de communautés végétales et fertilité des sols de lits de ravines en cours de restauration écologique**

**ERKTAN Amandine<sup>1</sup>, CECILLON Lauric<sup>1</sup>, POULENARD Jérôme<sup>2</sup>, CANDY Fabien<sup>1</sup>, ROUMET Catherine<sup>3</sup>, REY Freddy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Irstea, Centre de Grenoble ; 2 rue de la Papeterie ; BP 76 ; 38402 St-Martin-d'Hères cedex

<sup>2</sup> : Université de Savoie ; Laboratoire EDYTEM - UMR 5204 du CNRS ; « Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne » ; Bâtiment Pôle Montagne ; 73376 LE BOURGET DU LAC Cédex

<sup>3</sup> : CEFE CNRS ; Campus du CNRS ; 1919, route de Mende ; 34293 Montpellier 5

### **Contexte**

Les badlands sont des paysages présentant de nombreuses ravines actives, des sols peu fertiles et une faible couverture végétale (Figure 1A). Dans les Alpes du Sud, plus d'un siècle après d'importants travaux de restauration, des communautés végétales se développent spontanément dans les lits de ravines (Figure 1B).



Figure 1 : A/ Paysage actuel de *badlands* des Alpes du Sud (Draix). B/ Communauté végétale spontanée de lit de ravines

Les lits de ravines sont aujourd'hui la cible de travaux de génie écologique visant à éteindre la production sédimentaire des ravines. Le principe est d'implanter des barrières végétales servant de piège à sédiments. Sur le court terme, l'efficacité de ces barrières pour retenir des sédiments a été démontrée. Sur le long terme, les amas sédimentaires retenus dans les lits de ravines peuvent être modifiés, notamment sous l'action de la végétation d'abord implantée puis spontanée, pour former des sols avec une structuration propre. Le fonctionnement des systèmes sol-plante de lits de ravines en évolution spontanée depuis



plus de 100 ans nous permet de mieux comprendre l'évolution possible des amas sédimentaires formés actuellement suite à des travaux de génie écologique.

## Objectif

Nous cherchons ici à mieux comprendre les boucles de rétroaction entre communautés végétales et fertilité des sols dans les lits de ravines en cours de restauration écologique.

## Matériel et méthodes

Quatre types de communautés végétales, respectivement dominées par des herbacées, arbustes et arbres de petite (< 2 m) et grande (> 2 m) tailles, ont été identifiés (n = 15 par type de communauté) et caractérisés par leur composition fonctionnelle (CWM et diversité de Rao), en se concentrant sur des traits morphologiques foliaires et racinaires ainsi que par leur hauteur végétative (Figure 2). Des placettes témoins (positif et négatif) ont également été étudiées. La fertilité des sols a été caractérisée par des indicateurs du ratio accumulation/minéralisation de la matière organique, la disponibilité en eau et en nutriments.



Figure 2 : Types de communautés végétales de lits de ravines étudiées. Les placettes témoins sont également présentées.

## Résultats

Les résultats ont montré que la fertilité du sol augmente avec la hauteur végétative moyenne des communautés végétales, tout en restant limitée en termes de disponibilité en éléments nutritifs. La disponibilité en eau est apparue comme l'un des principaux moteurs favorisant la diversité fonctionnelle. En retour, la diversité fonctionnelle (liée à la variabilité inter et intraspécifique) présente une influence positive sur tous les aspects de la fertilité des sols.

## Conclusion

Cette étude nous renseigne sur les interactions sol-plante dans des écosystèmes fortement érodés, plus d'un siècle après travaux de restauration écologique.

# Etude agro-écologique sur des prairies permanentes dans le Parc naturel régional de la Brenne (Indre, 36). A l'interface de l'agronomie, la pédologie & la phytosociologie

PUYBERTHIER Perrine<sup>1</sup>, MOULIN Joël<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Chargée de projet Natura 2000 et agrosystèmes durables, Parc Naturel Régional du Verdon, domaine de Valx, 04360 Moustiers Sainte Marie, ppuyberthier@parcduverdon.fr

<sup>2</sup> : Pédologue, Chambre d'Agriculture de l'Indre, 24 rue des Ingrains 36000 Châteauroux, j.moulin@indre.chambagri.fr

## Introduction

Le milieu prairial en Brenne recèle une biodiversité floristique et faunistique remarquable que le Parc Naturel Régional de la Brenne (PNRB) souhaite préserver dans le cadre du maintien de l'activité agricole, garante de la qualité paysagère et environnementale du territoire (PNRB, 2010). Cependant, concilier ces deux enjeux soulève des interrogations. Le besoin de mieux connaître la valeur agronomique des prairies (valeur pastorale) ainsi que celui d'affiner les connaissances des potentiels agro-pédologiques, se fait ressentir autant chez les agriculteurs que chez les gestionnaires du PNRB.

Suite à des travaux phytosociologiques conduits en 2012 sur les prairies d'une future réserve naturelle régionale (RNR), est né le désir de mener une étude agro-écologique croisant une approche phytosociologique à une approche agro-pédologique (fig. 1).

L'étude comporte trois objectifs majeurs :

- 1) Dresser l'état des lieux des connaissances pédologique et agronomique des prairies,
- 2) Interpréter les relations entre la nature des sols, les syntaxons et leur valeur pastorale,
- 3) Valider la démarche et l'extrapoler à plus grande échelle

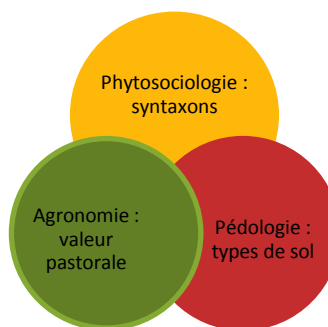


Figure 1 : représentation du triptyque de l'étude

Ce travail a pour finalité d'assurer une bonne connaissance des liens entre les sols et la végétation (caractérisée par 2 critères : syntaxon et valeur pastorale) des prairies de manière à mieux évaluer les gestions patrimoniale et agronomique sur le territoire du PNRB.

## Dresser la typologie des sols

L'étude s'est réalisée sur 60 ha de prairies permanentes.

Compte tenu de la particularité des sols de Brenne, très hydromorphes, peu épais, à faibles niveaux trophiques, la description pédologique a été réfléchiée en termes d'atouts et de contraintes. Une 50<sup>aine</sup> de sondages tarière a été réalisée, comportant pour chaque horizon : profondeur d'apparition et épaisseur, texture, hydromorphie, compacité, enracinement ; pour le substrat géologique : type, texture, profondeur d'apparition, altération. A l'aide de l'outil statistique R, une analyse descriptive (ACP) puis factorielle (AFCM) des données, suivi d'une classification ascendante hiérarchique (CAH), ont permis de dresser la typologie des sols.



### Déterminer les valeurs pastorales des prairies

Au niveau de chacun des sondages pédologiques (distance < à 10m) a été effectué un relevé floristique selon la méthode des poignées de de Vries (PLANTUREUX *et al.*, 2002). Cette méthode consiste à prélever aléatoirement 25 poignées de végétation dans un ensemble homogène (500m<sup>2</sup> environ). Chacune des poignées est ensuite analysée en listant toutes les espèces présentes et en attribuant à chaque espèce un coefficient de dominance compris entre 1 et 6 selon son volume occupé dans la poignée. Ces coefficients sont ensuite utilisés dans le calcul de la valeur pastorale de chaque relevé floristique.

Une cartographie a permis de positionner chaque relevé en leur affectant une classification de la valeur pastorale.

### Mise en évidence des liens sol-groupements végétaux-valeur pastorale

Pour mettre à jour les corrélations « sol & syntaxon », « sol & valeur pastorale », et « syntaxon & valeur pastorale », des tableaux croisés ont été utilisés. Pour chaque catégorie de sol, il a été regardé l'occurrence de chaque syntaxons (fig. 2) et la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation des valeurs pastorales ont été calculées. Pour chaque syntaxon, il a été calculé la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation des valeurs pastorales.

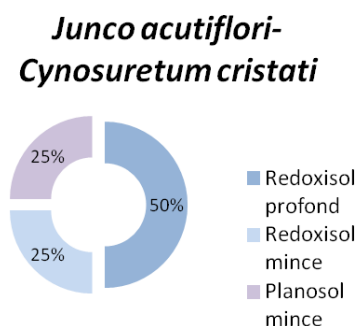


Figure 2 : Catégories de sol correspondant à l'association *Junco acutiflori* – *Cynosuretum cristati*.

### Résultats

La typologie des sols créée met en évidence d'importantes contraintes (niveau trophique, hydromorphie et racinaire). Les valeurs pastorales des prairies étudiées sont faibles. Les cartes précisent l'organisation spatiale des sols et la diversité des valeurs pastorales.

Le croisement de la typologie pédologique avec la phytosociologie a permis de relier les différents syntaxons à des types de sol. Les échanges avec les agriculteurs ont dévoilé des constats intéressants, notamment le fait que le plus fort indice de richesse spécifique se trouve sur une parcelle n'ayant fait l'objet d'aucune pratique (labour ou fertilisation depuis 45 ans).

Les liens entre catégorie de sol & valeur pastorale, et syntaxon & valeur pastorale ont été difficiles à mettre en évidence.

### Discussion et conclusion

Ce travail a permis de réaliser un premier état des lieux pédologique et agronomique sur des prairies permanentes du PNR de la Brenne, dévoilant la complexité de l'organisation spatiale des sols et leurs contraintes, ainsi que la faiblesse des valeurs pastorales.

Cette étude a montré les relations liant les sols à la végétation, elle-même caractérisée de façon synthétique par deux éléments : le type phytosociologique et valeur pastorale.

La rencontre avec les agriculteurs a permis de préciser les premiers résultats et de révéler des liens « pratiques agricoles & valeur pastorale ».

La nécessité de renforcer le nombre de relevés floristiques, de préciser la détermination phytosociologique et le besoin de consolider la typologie pédologique rendent difficile la mise en évidence des liens entre « valeur pastorale & sol » et « valeur pastorale & groupement végétal ».

Cette étude a permis la mise en relation partielle du sol, de la végétation et de la valeur pastorale. Elle aura aussi conduit à la valorisation de travaux antérieurs et à la collaboration entre des professionnels de spécialités variées (botanistes, agronomes, pédologues, agriculteurs...) et gestionnaires territoriaux du PNR Brenne.

## **Sols et changement climatique : quels travaux et quelles attentes au sein du programme ADEME REACTIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement ClimaTique par l'agriculture et la Forêt) ?**

**BISPO Antonio, EGLIN Thomas et MOUSSET Jérôme**

ADEME, 20 avenue du Grésillé, Service Agriculture et Forêts, B.P 90 406, F-49004 ANGERS cedex 01, [antonio.bispo@ademe.fr](mailto:antonio.bispo@ademe.fr), [thomas.eclin@ademe.fr](mailto:thomas.eclin@ademe.fr), [jerome.mousset@ademe.fr](mailto:jerome.mousset@ademe.fr)

### **Contexte et enjeux**

L'agriculture et la forêt doivent relever de nombreux défis. Si l'enjeu de l'agriculture est avant tout de nourrir une population croissante, l'agriculture et la forêt doivent également se mobiliser pour répondre aux demandes non-alimentaires : biomatériaux, bioproduits, bois énergie, biocarburants ... Simultanément leurs modes de productions et d'exploitation sont amenés à évoluer pour faire face à la raréfaction des ressources pour limiter les impacts négatifs sur l'environnement et fournir un ensemble de services à la société comme l'épuration des eaux, la régulation du climat, la structuration du paysage ou encore le stockage de carbone.

La France dispose d'un important potentiel de production de matières premières agricoles ou forestières. L'intensification de la production ou des prélèvements, nécessaire pour relever les enjeux précédemment évoqués et limiter la consommation d'espace, ne peut se faire sans considérer les dégradations potentielles des milieux (eau, air, sol, biodiversité) et une nécessaire adaptation au changement climatique. Dans le même temps, l'agriculture et la forêt disposent de capacités importantes à stocker le carbone, à travers la biomasse végétale ou la matière organique des sols, contribuant ainsi à l'atténuation du changement climatique.

Par ailleurs, le secteur de l'agriculture est d'après les inventaires du CITEPA responsable de 21% des émissions gaz à effet de serre (GES) au plan national. Le secteur forestier est considéré un puits (puits brut de 70 Mt CO<sub>2</sub> en 2012 selon le CITEPA) mais peut également être une source dans le cas de déforestations ou de mauvaise gestion des peuplements. A l'échelle mondiale, le GIEC estime que l'agriculture et la déforestation sont responsables de 30% des émissions de GES. Leurs contributions concernent les 3 gaz majeurs (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>) dont la part varie en fonction de l'orientation des systèmes (ex : élevage, cultures, forêt). Si des émissions d'origine énergétique existent (ex : moteurs des engins de travaux, chauffage des bâtiments et des serres) l'essentiel des émissions est d'origine biologique (ex : fermentation entérique, respiration aérobie et anaérobie des sols, réduction des nitrates). Ces émissions sont non seulement diffuses et réparties sur l'ensemble du territoire mais également éminemment variables car soumises d'une part aux conditions climatiques (ex : température et humidité) ou de milieu (ex : nature des sols), et d'autre part aux pratiques de gestion (ex : fertilisation, labour, alimentation animale, sylviculture dynamique ou non, choix des espèces). Les évaluations des émissions des secteurs agricole et forestier sont donc assez incertaines et il existe d'importants facteurs responsables de leurs variations.

Dans ce contexte, la connaissance du rôle des sols dans les flux de gaz à effet de serre (GES) en lien avec leur usage et les pratiques agricoles ou sylvicoles devient capitale. Si des travaux de recherche sont encore nécessaires, leurs traductions à moyen terme en outils et

approches (ex : outils d'aide à la décision, amélioration de la métrologie des flux de GES et des stocks de carbone pour l'agriculture et la forêt, proposition de modèles et de facteurs d'émission, identification de pratiques et de systèmes moins émetteurs ou favorisant les stocks) en appui aux politiques publiques sont nécessaires pour pouvoir intégrer les sols et leurs gestions dans les débats nationaux, européens et internationaux. Ainsi, par exemple l'Union européenne a instauré<sup>1</sup> un processus progressif de comptabilisation des émissions de GES et stocks de carbone liées aux sols agricoles, à la forêt et aux produits du bois à mettre en place à partir de 2013 mais les approches et les méthodes restent à définir...

### **La place du sol au sein du programme REACTIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement ClimaTique par l'agriculture et la Forêt)**

Consciente de ces enjeux et du déficit de travaux de recherche coordonnés sur le sujet de l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt, l'ADEME a mis en place en 2011 l'appel à projets REACTIF afin de favoriser l'émergence de recherches ayant une visée appliquée à la gestion des milieux cultivés et entretenus par l'homme. Au sein de cet appel, le rôle du sol y est clairement identifié que ce soit à travers son le stockage de carbone ou les flux des 3 principaux GES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>).

Après 2 appels à projets publiés en 2011 et 2013, 20 à 30<sup>2</sup> projets ont été retenus dont plus de la moitié intègrent le compartiment « sol ». Les travaux conduits concernent à la fois les sols agricoles et forestiers et considèrent différentes échelles d'études. Si une majorité des projets vise à comprendre les processus biophysiques de stockage de carbone et d'émissions de N<sub>2</sub>O et de CH<sub>4</sub> en lien avec les pratiques agricoles et sylvicoles (ex : effets des tassements, apports de fertilisants organiques ou minéraux, agroforesterie), d'autres cherchent à intégrer les sols au sein des filières (ex : identification de systèmes de production et d'itinéraires faiblement émetteur, filière « élevage », filière « bois-matériaux-énergie », approche ACV) ou des territoires (ex : prise en compte des sols et des pratiques agricoles aux échelles régionales et nationales, inventaire nationaux des émissions de GES et des puits de C). Les différents projets seront ainsi détaillés et positionnés en fonction de leurs objectifs propres mais également de leurs échelles d'analyse.

### **Des objectifs de valorisation à partager et faire partager**

Parallèlement aux travaux de recherche portés par chaque « équipe projet », l'ADEME a mis en place un dispositif d'animation visant à faire se rencontrer les différents partenaires et porteurs de projet afin qu'ils puissent échanger sur leurs approches, sites expérimentaux, méthodes et modèles respectifs mais également collaborer à travers l'émergence d'objectifs plus collectifs et appliqués tels que la mutualisation des bases de données, des analyses biophysiques ou des simulations croisées et conjointes, la proposition de protocoles partagés, des valorisations scientifiques (ex : articles, chapitres d'ouvrage) et techniques (ex : projet de norme, guide méthodologique) et des recommandations aux acteurs (ex : plaquette de communication, proposition de modèles et d'approches).

---

<sup>1</sup> Décision n°59/2013/EU relative aux règles comptables des Gaz à Effet de Serre du secteur UTCATF - utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

<sup>2</sup> Certains projets sont en cours de négociation et ne sont pas encore contractualisés.

## Peut-on protéger les sols en raisonnant l'organisation des paysages ?

WALTER Christian<sup>1</sup>, FOLLAIN Stéphane<sup>3</sup>, MICHOT Didier<sup>1</sup>, SALVADOR Salvador<sup>5</sup>,  
VIAUD Valérie<sup>2</sup>, BAKYONO Jean-Paul<sup>5</sup>, BOURENNANE Hocine<sup>6</sup>, CHARTIN  
Caroline<sup>5</sup>, CIAMPALINI Rossano<sup>3</sup>, COULOUMA Guillaume<sup>4</sup>, COUTURIER Alain<sup>6</sup>,  
DAROUSSIN Joël<sup>6</sup>, FOUAD Youssef<sup>1</sup>, HINSCHBERGER Florent<sup>3</sup>, MACAIRE Jean-  
Jacques<sup>5</sup>, LACOSTE Marine<sup>6</sup>, LE BISSONNAIS Yves<sup>3</sup>

<sup>1</sup> : UMR 1069 SAS, AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes

<sup>2</sup> : UMR 1069 SAS, INRA, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes,

<sup>3</sup> : UMR LISAH, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex1,

<sup>4</sup> : UMR LISAH, INRA, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1,

<sup>5</sup> : E.A 6293 GÉHCO, Université de Tours, France

<sup>6</sup> : UR0272 Science du sol, INRA, CS 40001, 45075 Orléans Cedex 2,

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* a abordé 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 (Figure 1). Il avait 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 a comparé trois agrosystèmes très différents (bocage en Bretagne, openfield en région Centre, viticulture en Languedoc-Roussillon) et intégré les évolutions prévisibles de climat et de changement d'usage des sols.



*Figure 1 - La géométrie du parcellaire, la gestion des parcelles cultivées et les structures paysagères déterminent une configuration du paysage qui permet de moduler l'impact du changement climatique sur les sols (photo INRA)*

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 (Figure 2). 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 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.

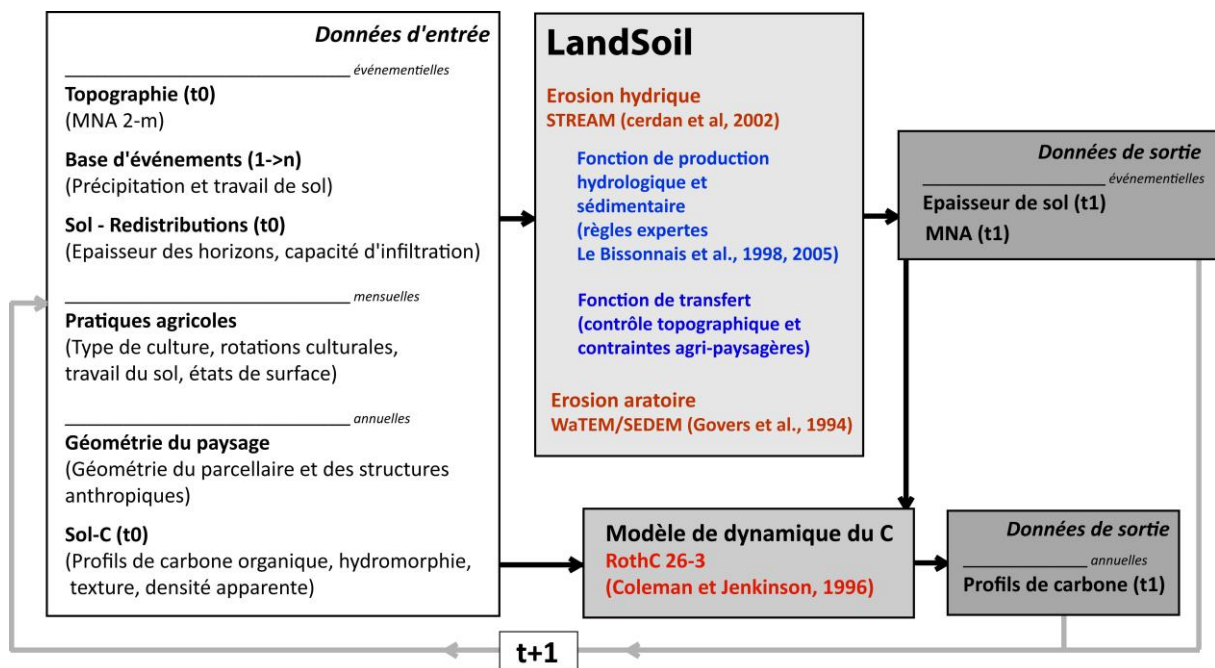


Figure 2 - Représentation de la méthode de modélisation de l'évolution des sols par couplage du modèle de redistribution des sols Landsoil et du modèle de dynamique du carbone organique (MNA : Modèle Numérique d'Altitude).



## **Sensibilité du C profond des sols aux changements climatiques : Minéralisation des matières organiques du sol à différentes teneur en eau en profondeur dans un PODZOSOL amazonien**

**POTARD Kevin<sup>1,2</sup>, NUNAN Naoise<sup>2</sup>, LUCAS Yves<sup>3</sup>, CHENU Claire<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>AgroParisTech, IEES - EGC, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France,  
[kevin.potard@hotmail.fr](mailto:kevin.potard@hotmail.fr) ; [claire.chenu@grignon.inra.fr](mailto:claire.chenu@grignon.inra.fr);

<sup>2</sup> CNRS IEES, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France  
[kevin.potard@hotmail.fr](mailto:kevin.potard@hotmail.fr) ; [n.nunan@grignon.inra.fr](mailto:n.nunan@grignon.inra.fr)

<sup>3</sup> *Laboratoire PROTEE - Bâtiment R Université du Sud Toulon-Var, BP 20132  
83957 LA GARDE Cedex* [lucas@univ-tln.fr](mailto:lucas@univ-tln.fr)

### **Sensibilité du C profond des sols aux changements climatiques : Minéralisation des matières organiques du sol à différentes teneur en eau en profondeur dans un PODZOSOL amazonien**

Les changements de régime hydrique seront une des composantes principales des changements climatiques à venir. Or, si l'effet de la température sur les stocks de C des sols a fait l'objet de nombreuses études récentes, il n'en est pas de même pour l'effet du régime hydrique, alors que l'humidité du sol influence fortement l'activité microbienne (Moyano et al. 2013). Il a récemment été montré que les horizons BpH des podzols amazoniens représentent un stock de carbone organique très important, de 13.6 PgC (Montes et al. 2011). Or, la région amazonienne est sujette au changement climatique ainsi qu'à des changements d'usage des terres ce qui induit des changements de régime hydrique. Les horizons BpH des podzols équatoriaux sont généralement saturés en eau ce qui limite la minéralisation du carbone organique. Des régimes hydriques plus secs ou plus variables pourraient donc induire une augmentation de la minéralisation des stocks de C avec une libération significative de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère. Pour pouvoir estimer l'importance de ce flux de CO<sub>2</sub>, il faut comprendre la réponse du C organique des sols à des régimes hydriques différents : une modification du potentiel matriciel vers des valeurs plus faibles et des cycles de dessiccation et ré-humectation pouvant induire une augmentation importante et rapide de la minéralisation du C organique des sols (Birch, 1958).

Notre objectif est de mesurer la minéralisation du C de différents horizons de podzols à différents potentiels matriciels pour ainsi connaître la sensibilité du C à des changements de régime hydrique.

Pour parvenir à cet objectif, des échantillons non perturbés provenant de 4 horizons différents (OH, E, BpH, IIM) de podzols amazoniens de trois sites distincts ont été incubés dans un dispositif qui permet de suivre les émissions de CO<sub>2</sub>. A l'aide d'une presse à membrane de Richards, les échantillons ont été placés dans des microcosmes à 5 potentiels contrastés (pF 0, 1.7, 2.5, 3.5, 4.2) puis directement mis en incubation à 28°C. Le suivi de la minéralisation est effectué pendant 1 mois et demi par mesure régulière des flux de CO<sub>2</sub> à l'aide d'un µGC. A la fin de l'incubation, la structure des communautés microbiennes a été analysée par quantification des PLFAs.

Nos premiers résultats indiquent que les horizons OH sont peu sensibles à la variation à l'humidité, ce qui est en accord avec Manzoni et al. (2012). Les horizons E et IIM ont un optimum de minéralisation à pF 2.5. La minéralisation dans l'horizon BpH est en revanche faible aux pF bas, soit de 0 à 2.5, et l'on observe une augmentation de l'activité vers 3.5 qui

diminue à pF 4.2. Nous supposons que cet horizon est saturé lorsque le pF est inférieur à 3.5 ce qui limite la minéralisation comme le décrit dans Moyano et al. (2013). Nous faisons l'hypothèse que la principale limite de la minéralisation est le manque d'azote dans les horizons profonds et la teneur en eau qui limite l'oxygénation du milieu.

**Mots clefs :** Vulnérabilité du C, Potentiel matriciel, minéralisation, PLFA, azote

**Références :**

- Birch, H.F. (1958). Soil drying and humus decomposition. *Plant and Soil*, X, 12.
- Manzoni, S., Schimel, J.P., Porporato, A., (2012). Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. *Ecological Society of America* 93(4), pp. 930–938
- Montes, C.R., Lucas, Y., Pereira, O.J.R., Achard, R., Grimaldi, M. and Melfi, A.J., (2011). Deep Carbon Storage in Amazonian podzols. *Biogeoscience* 8,: 113-120
- Moyano, F.E., Manzoni, S., Chenu, C. (2013). Responses of Soil Heterotrophic Respiration to Moisture Availability: An Exploration of Processes and Models. *Soil Biology and Biochemistry* 59, 72-85

## **Carbone organique du sol et changement d'usage des terres en Amazonie : état actuel des connaissances et des incertitudes**

**FUJISAKI Kenji<sup>1,2</sup>, PERRIN Anne-Sophie<sup>1</sup> et BROSSARD Michel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> CETIOM (Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre). En accueil à l'UMR Eco&Sols 2 place Viala 34060 Montpellier cedex 2, France. [perrin@cetiom.fr](mailto:perrin@cetiom.fr)

<sup>2</sup> IRD, UMR Eco&Sols 2 place Viala 34060 Montpellier cedex 2, France. [michel.brossard@ird.fr](mailto:michel.brossard@ird.fr) et [kenji.fujisaki@ird.fr](mailto:kenji.fujisaki@ird.fr)

### **Carbone organique du sol et changement d'usage des terres en Amazonie : état actuel des connaissances et des incertitudes**

A l'échelle de quelques millénaires le biome amazonien a subi de fortes variations climatiques qui ont conduit à des variations de la nature des cortèges de végétation. Depuis plusieurs décennies il subit de profonds changements d'usages des terres. Ainsi, la dynamique du carbone du sol après déforestation demeure une question cruciale, en raison des émissions de gaz à effet de serre lors et suite à la coupe de la forêt et de l'importance de la matière organique dans le maintien des propriétés physico-chimiques des sols, nécessaire à la croissance des plantes. Dans ce travail nous proposons une mise à jour incluant les incertitudes sur la dynamique du carbone du sol en milieu amazonien suite au changement d'usage des terres.

Bien que les travaux étudiant les systèmes de cultures sur brûlis indigènes aient pris en compte le carbone du sol, la majorité des travaux sur les stocks de C [Cs] après déforestation en Amazonie concerne des chronoséquences de pâturages en Amazonie brésilienne. Leurs [Cs] peuvent rester stables, décroître ou augmenter, comparés aux sols sous forêt de référence. Si un examen récent des données disponibles tend à montrer que les facteurs pédoclimatiques ([Cs] initial sous forêt, pluviométrie, nombre de mois secs) ne peuvent expliquer la dynamique des [Cs] après déforestation, la gestion des pâturages apparaît comme un des éléments clés du devenir du C.

L'utilisation du traceur isotopique <sup>13</sup>C permet de déterminer dans ces chronoséquences forêt-pâturages la décroissance du C forestier et son remplacement par le carbone issu des plantes C4 introduites. L'utilisation du <sup>13</sup>C peut cependant se heurter à la variabilité des sols étudiés dans les chronoséquences et les proportions de C forestier calculées deviennent aberrantes au cours du temps. Plutôt que les chronoséquences, les approches diachroniques se révèlent alors plus efficaces pour étudier le devenir du C du sol, grâce à l'élimination d'incertitudes liées à la texture des sols ou à l'historique des parcelles. Cette approche est cependant très rare.

Des travaux systématiques et régionalisés sur la dynamique des [Cs] après déforestation et mise en place de systèmes de cultures variés sont presque inexistantes. Actuellement, les systèmes de cultures de plantes à cycles courts et à rotations intensives sont responsables en grande partie des surfaces déforestées dans le sud de l'Amazonie. Une évaluation des [Cs] dans ce contexte est d'autant plus importante que les changements d'usage des terres de type forêt-cultures annuelles en contexte tropical sont les plus sensibles à la diminution des [Cs], en raison de la réduction des apports de C arrivant au sol et des conditions pédoclimatiques favorables à la décomposition rapide de la matière organique.

Les tentatives de prédiction de l'évolution spatio-temporelle des [Cs] à l'échelle régionale (par couplage de la modélisation et de la spatialisation des [Cs]) font face à de fortes incertitudes en raison i) de l'importante hétérogénéité spatiale des [Cs] sous forêt à l'échelle du biome amazonien et à l'échelle de la toposéquence et ii) des incertitudes sur



l'évolution des [Cs] après déforestation et mise en place de cultures annuelles, liées au manque de données de terrain. A l'échelle de la parcelle, la modélisation des [Cs] pourrait être améliorée par la prise en compte de l'augmentation de la température du sol susceptible d'augmenter les cinétiques de décomposition de la matière organique après déforestation et mise en culture.

## **La minéralogie des argiles influence-t-elle la dynamique du C dans les sols ?**

**BARRE Pierre<sup>1</sup>, FERNANDEZ-UGALDE Oihane<sup>1</sup>, VIRTO Iñigo<sup>2</sup>, HUBERT Fabien<sup>3</sup>, VELDE Bruce<sup>1</sup>, LUTFALLA Suzane<sup>1,3</sup>, BERNARD Sylvain<sup>4</sup> et CHENU Claire<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Laboratoire de géologie, UMR 8538 CNRS-ENS, Ecole normale supérieure, 75005 Paris, France, [barre@geologie.ens.fr](mailto:barre@geologie.ens.fr)

<sup>2</sup>Departamento Ciancas del Medio Natural, ETSIA, Universidad Publica de Navarra, Campus Arrosadia, 31006 Pamplona, Espagne

<sup>3</sup>AgroParisTech, UMR 7618 BioEMCo, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France

<sup>4</sup>IMPMC, Museum d'Histoire Naturelle, 61 rue Buffon, 75005 Paris

Il a été établi depuis plusieurs décennies que la quantité de particules fines, et en particulier la teneur en argiles (<2 µm) est corrélée positivement avec le stock de C organique du sol (COS). Les particules minérales du sol peuvent protéger les matières organiques de la dégradation par les micro-organismes en les adsorbant ou en contribuant à la formation d'agrégats pouvant piéger des particules organiques en leur sein. Du fait de leur grande surface spécifique et de la réactivité de cette surface, les argiles sont particulièrement efficaces pour adsorber les molécules organiques et contribuer à la formation d'agrégats, ce qui fournit une explication mécaniste à la corrélation positive observée entre argiles et stock de COS. Cependant, les fractions argiles des sols contiennent des minéraux très divers aux propriétés de surface très différentes. En particulier, les fractions argiles contiennent une grande diversité de minéraux argileux (phyllosilicates) différents. Dans ce travail, nous avons cherché à savoir si la minéralogie des phyllosilicates influence la dynamique du COS.

Dans une première partie, nous avons réalisé une revue des articles traitant de l'influence des minéraux argileux sur la dynamique du COS. Les résultats des expériences réalisées en système simplifié avec des minéraux argileux modèles (dépôts géologiques) suggèrent que les argiles 2:1 (ex. montmorillonite, illite) qui ont des surfaces spécifiques plus grandes et plus chargées que les minéraux argileux 1:1 (ex. kaolinite) protègent plus efficacement les composés organiques de la biodégradation. Cependant, les minéraux argileux modèles ont des propriétés différentes des minéraux argileux des sols. Les études réalisées dans les sols et dont la méthodologie est souvent discutable, présentent des résultats beaucoup plus équivoques.

Nous avons ensuite utilisé la variabilité intrinsèque de la fraction argile du sol de l'essai des Closeaux (chronoséquence C3/C4, INRA Versailles) pour comparer

l'efficacité des différents phyllosilicates à protéger le COS. La réalisation d'un fractionnement granulométrique à l'intérieur de la fraction argile ( $<0.05 \mu\text{m}$ ,  $0.05-0.2 \mu\text{m}$ ,  $0.2-2 \mu\text{m}$ ) a permis d'isoler des fractions à minéralogie contrastée. Les fractions les plus fines étant dominées par les interstratifiés illite-smectite, l'illite et la kaolinite dominant la fraction  $0.2-2 \mu\text{m}$ . En dépit de ces différences minéralogiques marquées, les temps de résidence de la matière organique associée à ces fractions diffèrent faiblement que ce soit en surface ou en profondeur. Contrairement à l'hypothèse que nous avons faite, les fractions les plus fines dont la surface spécifique est la plus élevée ont tendance à moins protéger la MOS (plus faible teneur en C, temps de résidence plus faible). Cependant, si l'information globale sur les fractions ne suggère pas d'influence de la minéralogie des argiles sur la dynamique des matières organiques, les observations en microscopie X (STXM-NEXAFS) montrent clairement des associations organo-minérales différentes dans les différentes fractions. Ainsi, les fractions les plus fines sont intégralement associées à des molécules organiques diffuses alors que des particules organiques non associées aux minéraux et des minéraux non associés à des molécules organiques ont été observés dans la fraction argileuse la plus grossière.

Notre étude montre donc que si le type de minéral argileux joue probablement sur la dynamique de la matière organique, de nouvelles recherches avec de nouvelles approches sont nécessaires pour déterminer quantitativement l'importance des différents phyllosilicates pour la stabilisation du carbone. Le développement des techniques de modélisation des diffractogrammes de rayons X permettant une meilleure identification et quantification des minéraux argileux des sols ainsi que l'utilisation des techniques d'investigation des complexes organo-minéraux à nano-échelle permettront sans doute des avancées substantielles sur l'importance de la minéralogie des phyllosilicates sur la dynamique de la MOS dans un futur proche.

## Contrôle pédologique des stocks de carbone organique des sols sous forêts et cultures

**Durand H.<sup>1</sup>; Cécillon L.<sup>2</sup>; Chenu C.<sup>3</sup>; Castel G.<sup>1</sup>; Akou D.<sup>1</sup>, Montagne D.<sup>4</sup>;  
Girardin C.<sup>3</sup>; Billiou D.<sup>3</sup>; Meunier P.<sup>1</sup>; Barré P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de Géologie, UMR 8538 CNRS-ENS, Ecole normale supérieure, 75005 Paris, France, [Barre@geologie.ens.fr](mailto:Barre@geologie.ens.fr)

<sup>2</sup>Irstea, UR EMGR Ecosystèmes Montagnards, 2 rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint-Martin d'Hères, France, [lauric.cecillon@irstea.fr](mailto:lauric.cecillon@irstea.fr)

<sup>2</sup>AgroParisTech, UMR 7618 BioEMCo, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France, [Claire.Chenu@grignon.inra.fr](mailto:Claire.Chenu@grignon.inra.fr) ; [Cyril.Girardin@grignon.inra.fr](mailto:Cyril.Girardin@grignon.inra.fr); [Daniel.Billiou@grignon.inra.fr](mailto:Daniel.Billiou@grignon.inra.fr)

<sup>4</sup>UMR EGC, INRA-AgroParisTech, Campus Grignon, 78850 Thiverval-Grignon, France, [david.montagne@grignon.inra.fr](mailto:david.montagne@grignon.inra.fr)

Le type de sol influence nécessairement le stock de carbone organique du sol (COS). En effet, le type de sol joue sur la productivité primaire et donc sur les flux de C entrant dans le sol, ainsi que sur la minéralisation du C du sol et donc sur les flux de C sortant. Pourtant, l'influence du type de sol sur la dynamique du COS a été peu étudiée. Une telle étude est compliquée par le fait que l'usage du sol et le climat co-varient fréquemment avec le type de sol, si bien que tester l'influence sur le stock de COS du facteur « type de sol » isolément est souvent délicat. Dans ce travail, nous avons étudié les stocks de C sous forêts et cultures dans et autour du domaine d'AgroParisTech à Grignon (Yvelines). Cette région présentait un triple avantage pour étudier l'influence du type de sol sur les stocks de COS: (1) une cartographie détaillée des sols ; (2) une variation à faible distance du type de sol assurant un climat similaire aux différents points de mesure ; (3) des parcelles sous usages contrastés pour les différents types de sol.

En Mars 2013, nous avons prélevé 50 échantillons de sol sous forêt et culture répartis dans 5 types de sol : luvisols, sol sur calcaire dur, sol sur calcaire à faluns, sol sur craie et sols argileux. Chaque traitement « usage x type de sol » a été répliqué 5 fois. Nous avons ensuite déterminé les stocks de carbone ainsi que la quantité de C associée aux fractions sables grossiers, sable fin et limons/argiles dans l'horizon 0-30 cm.

Comme attendu, les stocks de C ont été beaucoup plus élevés dans les forêts (~ 81 t ha<sup>-1</sup>) que dans les sols cultivés (~ 48 t ha<sup>-1</sup>). De manière intéressante, le type de sol a eu un effet significatif sur les stocks de C et l'impact de l'utilisation des terres n'a pas été le même pour chaque type de sol. Ainsi, des stocks de C organiques plus faibles ont été observés dans les luvisols, et les sols sur calcaire dur ont présenté des stocks plus élevés. La différence de stocks entre forêt et culture a été peu marquée pour les luvisols et beaucoup plus drastiques pour les 4 autres types de sol. De la même manière, le type de sol a influé significativement sur la distribution du COS entre fractions granulométriques.

Notre étude montre clairement un contrôle pédologique des stocks de C et indique nettement que la modification des stocks de C consécutifs à un changement d'usage des terres est modulée par le type de sol. Une meilleure connaissance de la couverture pédologique est donc requise pour mieux prédire l'évolution des stocks de COS dans un environnement changeant.

## Variabilité verticale des stocks de carbone des sols de la région d'Antsirabe

RAZAFIMAHATRATRA Hery<sup>1,5</sup>, ANDRIAMPIOLAZANA Manony<sup>2</sup>,  
RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina<sup>1</sup>, Le MARTRET Hervé<sup>4</sup>, RAZAFIMBELO  
Tantely<sup>1</sup>, BROSSARD Michel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Radioisotopes, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP 3383, hery\_razafimahatratra@yahoo.fr

<sup>2</sup> Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, BP 175 Madagascar, and.manony@gmail.com

<sup>3</sup> Institut de Recherche pour le Développement, UMR Eco&Sols, 2 Place Viala, 30460 Montpellier, France, michel.brossard@ird.fr

<sup>4</sup> Institut de Recherche pour le Développement, UMR GRED, 2196 Boulevard de la Lironde, 34980 Montpellier, France, Herve.LeMartret@ird.fr

<sup>5</sup> Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, BP 175 Madagascar

### Introduction:

Les débats sur les changements climatiques et globaux ont accentué les études du carbone du sol. Pour les sols tropicaux, réputés être sensibles à l'agression des différents facteurs exogènes comme le climat ou encore les activités humaines, l'étude de la dynamique du carbone constituent toujours un sujet primordial. Le C du sol, via la matière organique est déterminé par le climat, le type de sol et le mode d'usage (Feller et Beare, 1997). Ces facteurs biophysiques ont des influences notables sur la variabilité verticale et spatiale des stocks de C du sol au niveau d'un terroir. Pour le cas d'Antsirabe, l'objectif est d'analyser la variabilité verticale des stocks de carbone du sol pour divers sites distribués dans la région. L'évaluation des stocks a été conduite sur une profondeur de 0-30 cm classiquement et internationalement étudiée, et sur 0-100 cm pour mieux attester des évolutions à moyen et long terme.

### Matériels et méthodes:

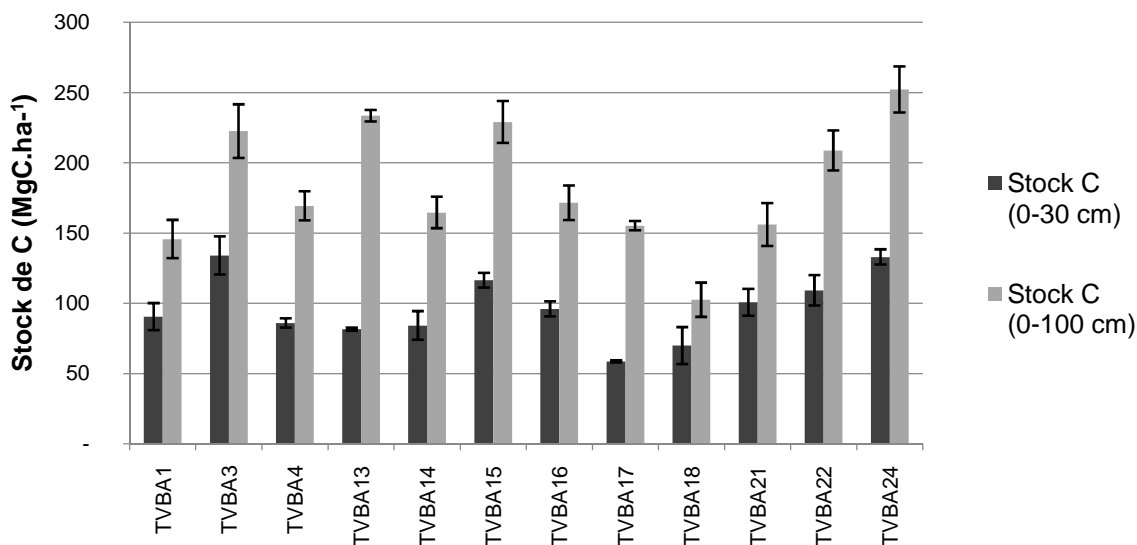
Des prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés sur 12 sites distribués dans différentes zones d'Antsirabe et représentatifs de la variabilité pédologique de la région ainsi que le mode d'usages sylvo-agricoles des terres. Géologiquement, trois grands domaines prédominent: du volcanisme, basaltes, basanites; les roches plutoniques sur socle précambrien, granites; et un ensemble varié qui a été métamorphisé. La masse volumique des horizons des sols (0-10, 10-20, 20-30, 50-60 et 80-90cm) a été mesurée (méthode du cylindre) et la teneur en C organique a été déterminée par voie humide (méthode de Walkley et Black). Les stocks de C du sol sont ensuite calculés sur 0-30 cm et 0-100 cm. Les stocks des profondeurs non analysées ont été estimés à partir de la prise en compte de l'épaisseur de l'horizon et l'interpolation des densités apparentes mesurées.

### Résultats et Discussions:

Les stocks de C du sol varient suivant les sites d'études. Les résultats obtenus ont montré que pour 10 sites sur 12, au moins la moitié des stocks de C du sol se trouve dans les 30 premiers cm. Cet horizon reste une zone d'accumulation des résidus organiques (Razafimbelo *et al.*, 2008).

Pour la couche 0-30 cm, les stocks varient de 58,49 à 134,04 MgC.ha<sup>-1</sup> avec une moyenne de 96,6 MgC.ha<sup>-1</sup>. La valeur maximale est proche de celle trouvée par Grinand *et al.*, (2009) pour les sols ferrallitiques de Madagascar, qui était de 163,2 MgC.ha<sup>-1</sup>, par contre la

moyenne est largement supérieure. Rappelons que l'étude citée ci-dessus a été réalisée à l'échelle du pays. Le stock moyen est de 184,17 MgC.ha<sup>-1</sup> pour 0-100 cm de profondeur.



**Figure 1: variation des stocks de C sur 0-30 cm et 0-100 cm**

La variation des stocks de l'horizon supérieur est due non seulement aux propriétés des sols, particulièrement la texture, mais également au mode de gestion des terres. En effet, les travaux de sol privilégie l'oxygénation, provoquant ainsi l'accélération de la minéralisation des matières organiques (Balesdent *et al.*, 2000). C'est le cas pour l'horizon de surface. Pour l'horizon en profondeur, la variation des stocks de C du sol est plutôt attribuée à la texture donc à la nature des roches mères. Les sols avec une teneur élevée en argile présentent toujours une teneur en C plus élevée.

### Conclusion:

Pour pouvoir réaliser une carte de C du sol d'une zone donnée, il est nécessaire de constituer une base de données sur les stocks de C des sites représentatifs. Pour le cas d'Antsirabe, la présente étude a permis de constater qu'il y a une grande variabilité des stocks même pour un même type de sol. Pour l'ensemble des sites étudiés, plus de la moitié des stocks de C du sol sur 0-100 cm se trouve dans l'horizon 0-30 cm. Ces résultats montrent également l'importance de la variabilité spatiale des stocks de C selon le type de sol (sols andiques et andosols). Etant donné que les sites d'études sont localisés dans différents endroits de la région d'Antsirabe, la nature des roches mères joue également un rôle important. Ces sites se trouvent majoritairement sur des basaltes ou encore sur des migmatites.

### Références bibliographiques:

- Balesdent J., Chenu C., Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220.
- Feller, C. and Beare, M.H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116.
- Grinand, C., Rajaonarivo, A., Bernoux, M., Pajot, V., Brossard, M., Razafimbelo, T.M., Albrecht, A. and Le Martret, H., 2009. Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. *Etude et Gestion des Sols*, 16(1): 23-33.
- Razafimbelo, T.M., Albrecht, A., Oliver, R., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L. and Feller, C., 2008. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. *Soil & Tillage Research*, 98: 140-149.

## Dynamique du carbone du sol après la déforestation des forêts naturelles sempervirentes du Centre Est de Madagascar

RANDRIANARISOA Jeannicq<sup>1</sup>, RAMIFEHIARIVO Nandrianina<sup>2</sup>,  
RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina<sup>2</sup>, RAZAFIMBELO Tantely<sup>2</sup>,  
ANDRIAMANANJARA Andry<sup>2</sup>, RAZAFIMAHATRATRA Hery<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Département Eaux et forêts, Université d'Antananarivo, Madagascar. <jeannicq@yahoo.fr>

<sup>2</sup>Laboratoire des Radioisotopes-SRA, UR Disponibilité des éléments, Université d'Antananarivo, Madagascar. <ranandrianina@hotmail.fr>

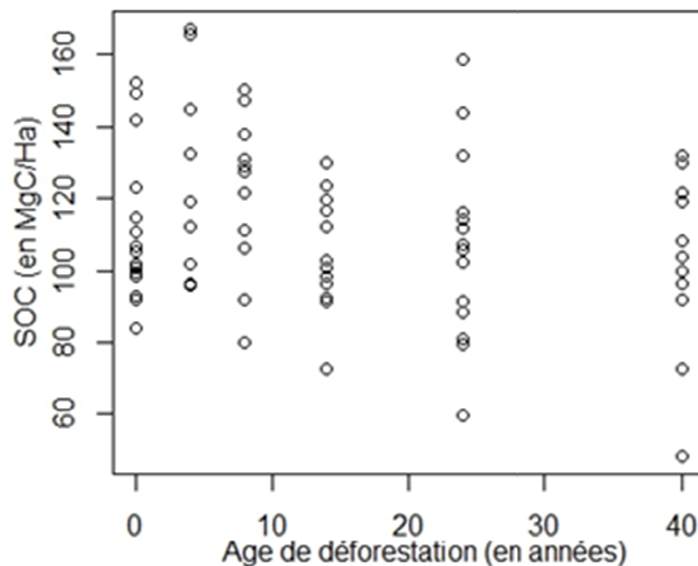
**Mots clés :** Changement climatique, changement d'usage, chronoséquence, dynamique des nutriments, stock de Carbone,

### Introduction

Dans la lutte contre la déforestation et la dégradation de la forêt, moins de priorité est donnée au sol qui contient pourtant autant de carbone (C) que la végétation et l'atmosphère réunis. Il est nécessaire d'avoir des estimations précises des stocks et des flux de C des sols pour évaluer leurs impacts sur le climat. Ce qui n'est pas le cas dans un domaine dominé la variabilité des stocks de C du sol et l'insuffisance des données (Doblas-Miranda, 2013). Ce travail étudie l'évolution du stock de C du sol suivant la chronoséquence de la déforestation de forêts naturelles humides de l'Est de Madagascar avec un sol généralement de type ferrallitique. Les hypothèses de recherche étant un changement de stock de C en fonction de l'utilisation des terres ainsi que l'existence d'un modèle décroissant des stocks de C en fonction de l'âge de la déforestation.

### Méthodologies

Une combinaison d'images satellites de la couverture forestière du pays en 1990, 2000, 2005, 2010 ainsi que l'image à haute résolution de Google Earth en 2013 ont été utilisées pour déterminer les zones de même âge de déforestation, respectivement 4, 8, 13, 23 ans et supérieur à 23 ans. Une grille de points d'équidistance 300m a été répartie dans toute la zone d'étude et à partir desquels ont été choisis au hasard les centres des 25 placettes de prélèvement des échantillons de sol. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à une profondeur de 50cm, puis analysés au laboratoire pour déterminer la teneur en C organique par la méthode de Walkley and Black. Les stocks de C ont été calculés en



**Figure1:** Evolution du stock de C du sol en fonction de l'âge de la déforestation



utilisant la densité apparente, la teneur en C et le pourcentage des refus lors du broyage des échantillons. Les données biophysiques et l'historique de l'utilisation de chaque parcelle ont été notées.

### Résultats

Les stocks de C du sol entre les différents âges de déforestation ne sont pas significativement différents au seuil de 5% ( $p = 0.12$ ). Il y a une forte variabilité dans l'ensemble (48,38 à 167,05 MgC/Ha) voire entre les stocks de même âge. On note aussi une tendance à la baisse des stocks de C au cours du temps après un semblant d'augmentation durant les quatre premières années après le défrichement, ce qui n'est pas conforme à la plupart de la littérature à l'exception de Perez et al (2004) et Jobse (2008). La non libération immédiate du C du sol après déforestation, la décomposition des racines et autres matériaux ligneux, ainsi que la formation d'humus pyromorphique passif sont avancés comme responsables de la hausse de C organique après le défrichement. La baisse soutenue serait probablement due aux effets de l'érosion combinée à l'appauvrissement de la couverture végétale dû aux feux répétés.

Malgré la normalité de la distribution des valeurs de stocks de C (test Shapiro-Wilk,  $W=0,9858$ ,  $p=0.5616$ ,  $n=81$ ), aucun modèle mathématique robuste n'explique leur variation en fonction de l'âge de la déforestation. Une analyse des correspondances semble indiquer un impact de l'échantillonnage sur les stocks de C en forêt dont les sites de prélèvement sont situés souvent sur des haut-versants où la biomasse est généralement plus faible. On observe aussi une certaine relation entre le type de végétation dominante et le stock de C : le stock minimal serait du côté des herbes et fougères tandis que le stock maximal du côté des arbustes.

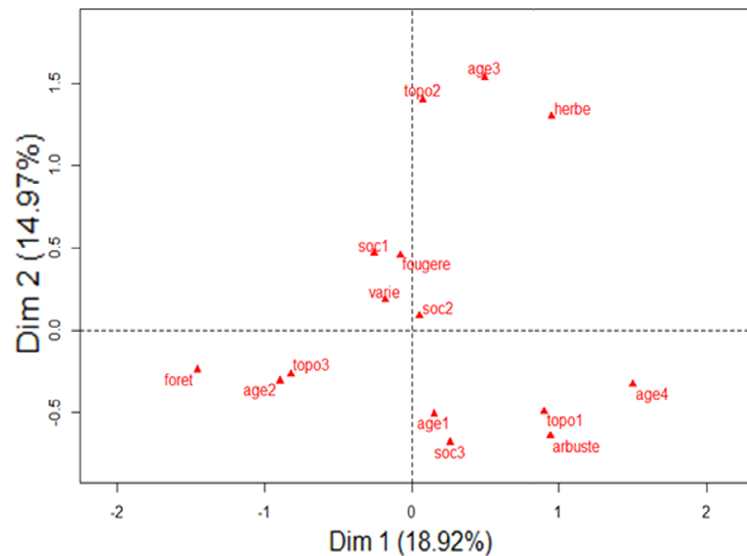


Figure 2: Analyse des correspondances multiples

### Conclusion

Cette étude montre la nécessité de la prise en compte des facteurs topographique et les types de végétation lors de l'établissement du plan d'échantillonnage afin réduire les incertitudes sur l'estimation et la modélisation de la variation des stocks de C du sol.

### Références

- Doblas-Miranda, E., P. Rovira, L. Brotons, J. Martinez-Vilalta, J. Retana, M. Pla, & J. Vayreda. 2013. Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain. *Biogeosciences*, 10, 8353-8361, doi:10.51194/bg-10-8353-2013, 2013.
- Jose A. Conzalez-Perez, Francisco J. Conzalez-Vila, Gonzalo Almendros, & Heike Knicker. 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International* 30 (2004) 855-870
- Judith Jobse. 2008. Impacts of forest-to-agriculture conversion on aboveground and soil carbon and nitrogen stocks along a bioclimatic gradient in Costa Rica. Dissertation. Oregon State University.

## La matière organique des sols d'une toposéquence sous climat subhumide

### Cas de la vallée de Zeramna, région de Skikda, Algérie

BOUNOUARA Zohra<sup>1</sup>, CHEVALLIER Tiphaine<sup>2</sup>, TOUCET Joël<sup>2</sup>, BEBSAID Rabah<sup>1</sup> et SBIH Mahtali<sup>3</sup> BALESDENT Jérôme<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>Université 20 Aout 1955 Skikda, Algérie <sup>2</sup>IRD UMR Eco&Sols, Montpellier, France, <sup>3</sup>Université Batna, Algérie, <sup>4</sup>INRA Unité GSE, Aix en Provence, France  
[bounouarazohra@gmail.com](mailto:bounouarazohra@gmail.com)

### Résumé

Si l'importance de la matière organique en zone méditerranéenne est reconnue, nos connaissances ne sont que fragmentaires quant aux mécanismes qui régissent son évolution. En effet, dans le contexte Algérien, les investigations menées en vue de connaître l'état de la matière organique et son évolution en fonction des facteurs écologiques sont rares et ne sont en fait qu'au stade de la caractérisation préliminaire (Serag, 1983 ; Dellal, 1994 ; Benslama, 1996). Le présent travail fait un point sur les connaissances de la dynamique du carbone de sols sous climat méditerranéen subhumide dans la vallée de Zeramna (région d'El Hadaiek, Skikda, Algérie). Les objectifs de l'étude sont de déterminer et de caractériser les teneurs et la nature des matières organiques des sols le long d'une toposéquence. La toposéquence est caractérisée par un relief varié : des montagnes jeunes et des terrasses alluviales traversée par l'Oued de Zeramna. Ces terrasses occupent de grandes étendues et sont constituées de sols alluviaux, c'est-à-dire de dépôts récents de matériaux apportés par les eaux (Bebsaid, 1986 ; Belaissaoui, 2003). Quatre profils pédologiques ont été réalisés le long de la toposéquence selon un axe Ouest - Est dans la vallée de Zeramna avec trois répétitions par profil. Une description morphologique et analytique des profils a été faite. Localisé en haut de topo séquence, **P1** Inceptisol (A/C) sol sableux, peu évolué d'apport colluvial d'érosion, et occupé par des chênes. Localisé au piémont du versant, **P8** Inceptisol (A/C), solsableux peu évolué d'apport colluvial d'érosion. et occupé par des oliviers. Localisé dans la plaine alluviale, **P13** Mollisol (Ap/C/C1/C2), sol limono-argileux peu évolué d'apport alluvial noirci-humifère, sol labouré sous agrumes. Localisé dans la plaine alluviale et très proche de l'Oued **P17** Entisol (A/C/C1) sol sableux sous agrumes.

La caractérisation des matières organiques des 4 profils a été réalisée par des mesures de teneurs en C et N du sol total et des fractions granulométriques de sols (> 50 µm, 20-50 µm, 2-20 µm et 0-2 µm) obtenues après dispersion maximale du sol sans destruction de la matière organique (Feller et al. 1995). Le potentiel de minéralisation des matières organiques des sols a été également mesuré par des incubations de sols en conditions contrôlées (28°C, -0.01 MPa).

Le long de la toposéquence, du sommet à l'aval, les teneurs en carbone diminuent de 26.7 gC kg<sup>-1</sup> au sommet de la colline sous chêne à 19.5 gC kg<sup>-1</sup> au pied de pente et 14.5 et 12.6 gC kg<sup>-1</sup> dans la plaine alluviale. Cette diminution est essentiellement expliquée par une plus forte quantité de C sous forme de débris végétaux (Fractions > 50 µm) dans les profils P1 et P8. Nous notons successivement, 14.71 et 9.41 gC kg<sup>-1</sup> par rapport aux profils P13 et P17 (2 à 2.96 gC kg<sup>-1</sup>). Ceci indique une accumulation de débris végétaux sur le versant occupé par des chênes et des oliviers. La quantité de C dans la fraction argileuse en revanche demeure stable le long de la toposéquence.

Les teneurs en C élevées sous P1 s'expliquent aussi par un taux de minéralisation faible soit des débris végétaux difficilement décomposables et un C/N élevé. Les teneurs en C plus faibles sous P13 que sous P8, s'expliquent par un taux de minéralisation plus élevé sous P13, sans doute du au labour. Curieusement P17 a des taux de minéralisation et des teneurs en C faible. Cela est probablement dû à l'effet d'érosion de l'Oued et une exportation de C du sol par érosion.

Mots clés : sols méditerranéens, climat subhumide, carbone organique, fractionnement physique de la matière organique, respirométrie.

## Impact de la mise en culture et en pâturage de la végétation du Cerrado sur les stocks de carbone du sol

RESENDE Thalita Mendes<sup>1</sup>, BERNOUX Martial<sup>2</sup>, ROSOLEN Vania<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctorante en Géographie, Université Fédérale de Uberlândia (UFU). Av. Joao Naves de Ávila, n°. 2121, Santa Monica, Uberlândia, Minas Gerais, Brésil, CEP 38408-100. Email: thalitamresende@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR Eco&Sols "Ecologie et biogéochimie fonctionnelle des sols et des agro-écosystèmes" (Montpellier-SupAgro, CIRAD, INRA, IRD), Bât 12, 2 place Viala, 34060, Montpellier Cedex 2, France.

<sup>3</sup> Département de Pétrologie et Métallogénie de l'Université d'Etat de São Paulo (UNESP). Av. 24A, 1515, CP 178, Bela Vista, Rio Claro, SP, Brésil, CEP: 13506-900.

### Résumé

Le Cerrado (savane brésilienne) a été modifié par les changements d'utilisation et des modes de gestion des terres. L'occupation du Cerrado brésilien a commencé dans les années 1930 et est devenue un domaine prioritaire pour l'expansion agricole dans les années 1970, avec la période de modernisation de l'agriculture brésilienne. De vastes zones de végétation naturelle ont été et sont toujours déboisées pour faire place à des cultures annuelles (le soja et le maïs, principalement), des pâturages (cultivés et parfois dégradés), et de l'exploitation des forêts pour le charbon de bois, et ces dernières années pour l'expansion de la canne à sucre. Le taux de conversion annuel des terres entre 1999 et 2005 était de 1,55 % (Jepson, 2005). Le Cerrado est actuellement une mosaïque qui combine l'agriculture intensive et le pâturage, entrecoupée de fragments de végétation naturelle (seulement 2,85% du Cerrado sont des unités de conservation de la protection intégrale) toujours menacés (MMA, 2014).

Les pâturages couvrent environ les trois quarts de la superficie agricole nationale (210 millions d'hectares) et occupent une position important dans le paysage agricole brésilien. Jusqu'aux années 1970, les pâturages naturels ont représenté la plus grande proportion de la superficie totale des pâturages au Brésil. Toutefois, en raison de la faible productivité de ces pâturages, et suite à l'introduction des pâturages avec des espèces africaines (*Brachiaria*, *Panicum* et *Andropogon*) plus productifs et avec un plus grand potentiel pour l'augmentation du stockage de carbone dans le sol (Balbino et al, 2002; Cerri et al, 2003; Marchão et al, 2009), les pâturages plantés se sont imposés dans les années 1970 et 1980 : les surfaces occupées par les cultivars de plantes fourragères (50% des espèces fourragères cultivées sont du genre *Brachiaria*) ont augmenté significativement, ainsi que les taux de chargement, la performance et la productivité des animaux (Martha Junior, 2002).

Généralement, il est reconnu que les pâturages bien gérés peuvent stocker le carbone (C) tandis que les pâturages dégradés en libèrent vers l'atmosphère et augmentent ainsi la dégradation des sols (Bernoux et al, 2001; FAO, 2009). La gestion des pâturages a été citée comme la deuxième option agricole la plus importante disponible pour atténuer le changement climatique mondial (FAO, 2009). Globalement, les pâturages représentent 8% du C organique des sols de la planète (IPCC, 2001 *apud* FAO, 2009). De plus, selon Conant et Paustian (2002) *apud* FAO (2009), la capacité moyenne globale de la séquestration du carbone par les pâturages est d'environ 45,7 Tg C par an.

La région d'Uberlândia dans la région du « Triangulo Mineiro » (MG, Brésil) est traditionnellement liée à l'activité de pâturage. Cependant, les conditions géologiques, naturelles du sol et du climat constituent des facteurs importants qui peuvent accélérer la dégradation de la matière organique dans le sol quand les pâturages ne sont pas gérés correctement. L'objectif de cette étude est de comparer le stock et la nature du carbone dans les sols sous Cerrado avec deux zones de cultivés et/ou mise en pâturage depuis 30 ans et de quantifier la proportion de C provenant des pâturages.

Les résultats des analyses du carbone organique total (C%) et des isotopes du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) montre que la conversion du cerrado s'accompagne d'une diminution des stocks de carbone, nettement plus prononcé lorsqu'il y a une mise en culture avant la mise en pâturage. Ces variations impactent surtout la couche 0-15 cm. La diminution des stocks de C des sols s'accompagne de changements dans les valeurs isotopiques ( $\delta^{13}\text{C}$ ).

## Références

- Balbino L.C., Brossard M., Leprun J.C., Bruand A. 2002. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. *Étude et gestion des sols*, 9, 83-104.
- Bernoux M., Carvalho M.C.S, Volkoff B., Cerri C.C. 2001. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology*, 7, 779-787.
- Cerri C.E.P., Coleman K., Jenkinson D.S., Bernoux M., Victoria R., Cerri C.C. 2003. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1879–1887.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2009. *Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation*. Rome. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1135e/i1135e00.pdf>.
- Jepson W. 2005. A disappearing bioma? Reconsidering land-use cover change in the Brazilian savanna. *The Geographical Journal*, 171, 2, 99-111.
- Martha Júnior G.B., Vilela L. 2002. *Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados.
- Marchão R.L., Becquer T., Brunet D., Balbino L.C., Vilela L., Brossard M. 2009. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil Till. Res.*, 103, 442-450.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. *O Bioma Cerrado*. [www.mma.gov.br/biomas/cerrado](http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado).

## **Les charbons sont ils une fraction récalcitrante des matières organiques des sols? Mise en évidence d'une décroissance rapide du stock de charbons dans le sol d'un essai de longue durée**

S. Lutfalla<sup>1,3</sup>, S. Abiven<sup>2</sup>, D. Wiedemeier<sup>2</sup>, P. Barré<sup>3</sup>, C. Chenu<sup>1</sup>

1 AgroParisTech, UMR 7618 IEES, Bâtiment EGER, 78850 Thiverval Grignon, France

2 Université de Zurich, Science du sol et biogéochimie, Département de Géographie, CH-8057 Zurich, Suisse

3 ENS, Laboratoire de Géologie, CNRS ENS, UMR 8538, F-75005 Paris, France

Dans le contexte des changements climatiques, une des techniques d'atténuation actuellement à l'étude consiste à apporter au sol des charbons (biomasse pyrolysée), en faisant l'hypothèse que le carbone de ces charbons est sous une forme très stable et sera donc stockée dans le sols pour des durées importantes.

Notre objectif était d'évaluer la stabilité de charbons dans les sols à l'échelle de plusieurs décennies. Pour cela nous avons utilisé l'opportunité d'une jachère nue de longue durée (INRA, Versailles) : en l'absence de tout apport de matières organiques fraîches depuis 80 ans, on peut y quantifier la décroissance progressive du stock de charbons présents initialement, ainsi que celle du carbone organique total du sol, sous l'effet de la biodégradation.

Nous avons utilisé des échantillons d'archives de la collection historique des 42 parcelles à l'INRA de Versailles (parcelles témoin). Nous avons quantifié les charbons par la méthode BPCA (Wiedemeier *et al.*, 2013) et le carbone organique total par analyse élémentaire.

Après 80 ans de jachère nue, plus de 36% de la quantité de charbons-BPCA présente initialement a disparu, à comparer avec la diminution du C organique total (66%). Nous avons procédé à une séparation granulométrique des argiles (< 2 µm) et y avons quantifié les charbons-BPCA. Dans cette fraction, le C organique total comme les charbons-BPCA décroissent à la même vitesse.

Nos résultats montrent que les charbons, tels que l'on peut les quantifier par la méthode BPCA, sont sans doute moins stables que généralement admis.

*Wiedemeier D., Hilf M., Smittenberg R., Haberle S., Schmidt M., Improved assessment of pyrogenic carbon quantity and quality in environmental samples by high-performance liquid chromatography **Journal of Chromatography A**, 1304, 246-250, 2013.*

## Le potentiel des pratiques agricoles pour augmenter le stockage de C dans les sols cultivés : une évaluation pour la France

CHENU Claire<sup>1</sup>, ANGERS Denis<sup>2</sup> METAY Aurélie<sup>3</sup>, COLNENNE Caroline<sup>4</sup>, KLUMP Katja<sup>5</sup>, BAMIERE Laure<sup>6</sup>, PARDON Lénaïc<sup>7</sup>, PELLERIN Sylvain<sup>8</sup>

- 1- AgroParisTech, Grignon, [chenu@grignon.inra.fr](mailto:chenu@grignon.inra.fr)
- 2- Agriculture AgroAlimentaire Canada, Québec, Canada, [Denis.Angers@agr.gc.ca](mailto:Denis.Angers@agr.gc.ca)
- 3- Supagro Montpellier, France, [metay@supagro.inra.fr](mailto:metay@supagro.inra.fr)
- 4- INRA Grignon, France, [caroline.colnenne@grignon.inra.fr](mailto:caroline.colnenne@grignon.inra.fr)
- 5- INRA Clermont, France, [katja.klumpp@clermont.inra.fr](mailto:katja.klumpp@clermont.inra.fr)
- 6- INRA Grignon, France, [Laure.Bamiere@grignon.inra.fr](mailto:Laure.Bamiere@grignon.inra.fr)
- 7- INRA Paris, France, [Lenaic.Pardon@paris.inra.fr](mailto:Lenaic.Pardon@paris.inra.fr)
- 8- INRA Bordeaux, France, [pellerin@bordeaux.inra.fr](mailto:pellerin@bordeaux.inra.fr)

L'agriculture peut réduire ses émissions de gaz de serre, notamment par le stockage de C dans les sols sous forme de matières organiques. Si la plupart des auteurs s'accordent sur l'existence de marges de progrès importantes, les possibilités d'atténuation sont à ce jour moins bien quantifiées que dans d'autres secteurs. Dans le cadre d'une étude INRA, nous avons examiné les mesures techniques susceptibles de stocker du carbone dans les sols cultivés. Nous avons estimé leur potentiel de stockage de C par unité de surface et avons proposé, pour le territoire de France métropolitaine, des surfaces potentielles d'application. Pour être éligibles, les mesures devaient être des pratiques agricoles mises en œuvre par l'agriculteur, n'entraînant pas de changement majeur du système de production, ni de la production, dont l'efficacité a fait l'objet de travaux et n'ayant pas d'impact négatif majeur sur l'environnement. Dix mesures ont été examinées, dont quatre permettraient de stocker du carbone dans les sols:

- Développer les techniques culturales sans labour
- Planter davantage de couverts dans les systèmes de culture
- Développer l'agroforesterie et les haies
- Accroître la durée de vie des prairies temporaires.

Nous avons proposé des taux de stockage additionnels sur 20 ans en nous basant sur une revue de la littérature et proposé des conditions d'application de ces mesures (faisabilité, acceptation, limitation des pertes de rendements et des émissions d'autres GES) .

Les taux de stockage unitaire retenus d'après la synthèse de la littérature allaient de 0 MgC ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> (par ex travail superficiel à 10 cm de profondeur à 0,49 MgC ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> pour des bandes enherbées. Les pratiques permettant les plus forts taux de stockage de C sont celles associées à une augmentation de la biomasse et donc à une augmentation des entrées de C dans le sol (agroforesterie, haies, cultures de couverture), tandis que la réduction de la minéralisation des matières organiques via une réduction du labour semble moins efficace. Lorsque appliquées selon notre cahier des charges, ces mesures ont permis d'augmenter les stocks de carbone des sols français de 0 à plus de 1 Tg C an<sup>-1</sup>, et elles peuvent être combinées, au moins partiellement. Par conséquent, ces pratiques agricoles représentent un potentiel d'atténuation importante des émissions de GES. Toutefois, les incertitudes importantes qui sont associées à ces estimations doivent être réduites.

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>

## **Situation et évolution des stocks de carbone du sol sous REDD+ (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts) à Madagascar**

**ANDRIANIRINA Carole<sup>1,2</sup>, RAZAFIMAHATRATRA Hery<sup>1,3</sup>, ADRIAMANANJARA Andry<sup>1</sup>, RAZAFIMBELO Tantely<sup>1</sup>, RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire des Radioisotopes, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP 3383, andrianirinaca@gmail.com, razakamanarivo@gmail.com

<sup>2</sup> Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, BP 175 Madagascar

<sup>3</sup> Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, BP 175 Madagascar, hery\_razafimahatratra@yahoo.fr

### **Introduction**

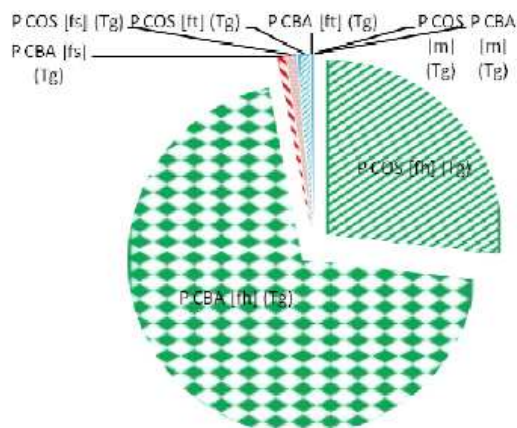
La déforestation et la dégradation forestière constituent la seconde principale source d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) aggravant les changements climatiques. La « Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts » ou REDD+ est un mécanisme en œuvre dans les pays en développement permettant de réduire la déforestation, la dégradation forestière et d'augmenter les stocks de Carbone (C) forestier. Malgré le rôle non négligeable que tient le sol dans la fonction de stockage de C (forestier) qui va jusqu'à égaliser la capacité de celle de la végétation (GIEC, 2001), la capacité de stockage de C par le sol sous REDD+ à Madagascar est souvent ignorée (Busson et *al.*, 2009). Cette étude s'est alors proposé d'évaluer la contribution du compartiment sol au stockage de C par rapport à la biomasse aérienne sous REDD+ à Madagascar.

### **Méthodologie**

Cette étude établit la situation des stocks de C du sol sous REDD+ à Madagascar en un temps t et leur évolution sur la durée des projets REDD+ (30 ans) en comparaison aux stocks de la biomasse aérienne. Les stocks de C du sol et de la végétation ont été obtenus en capitalisant les résultats stocks de C dans les documents de projets REDD+ malgaches et mémoires d'étudiants universitaires. Cette capitalisation de résultats a été couplée à une approche spatiale en utilisant ArcGIS 9.3 où les délimitations des zones REDD+ ont été superposées aux stocks de C du sol dans le pays (Grinand et *al.*, 2009) pour extraire spatialement/calculer les stocks (moyens et totaux) de C dans les zones REDD+. La projection de l'évolution des stocks ont été obtenus par simulation sous « Ex- Ante Carbon balance tool » (Ex-ACT) (FAO) qui apporte des estimations ex-ante de l'impact des programmes/projets sur les émissions de GES et la séquestration de C aux niveaux Tier 1 (données internationales) et Tier 2 (données locales). Pour faire la simulation, les scénarios REDD+ des « Project Document Design » (PDD) ont été utilisés.

### **Principaux résultats**

Les résultats principaux tirés de cette étude montrent qu'en situation initiale de projet REDD+, il n'existe pas de différence significative entre les stocks de C du sol et de la biomasse aérienne. Le sol peut donc stocker autant de C que la biomasse dans une situation sans projet. Après simulation, Ex-ACT montre un bilan C négatif. La capacité du sol (0-30 cm) à réduire les émissions de C est 1,5 fois plus importante que pour la végétation et les pertes de carbone sont minimisées pour le sol (Figure 1).



**Figure 1 : Pertes en C du sol (P COS) et de la biomasse aérienne (P CBA) durant le projet en forêt humide (fs), forêt sèche (fs), forêt de tapia (ft) et mangroves (m)**

## Discussions

La démarche combinant approche spatiale et recours à Ex-ACT ont permis d'avoir une évaluation proche de la réalité des stocks de C sans besoin de prospections spécifiques à un état initial et final de REDD+. D'ailleurs, l'évaluation faite repose sur des estimations ponctuelles, ce qui est obligatoire pour une telle étude (Arrouays et al., 2003). L'étude montre l'importance de la fonction de stockage de C par le sol sous REDD sur une profondeur de 0-30 cm mais pourrait être étendue à une profondeur de 0-100 cm pour une comparaison à des résultats internationaux.

## Conclusion

Les projets REDD+ malgaches ont un potentiel de stockage de C non seulement important dans la biomasse aérienne mais aussi et surtout dans le sol. Dorénavant, un focus devrait être mis sur le sol dans l'étude de la situation des stocks et de leur évolution non seulement temporelle mais aussi spatiale.

## Références bibliographiques

- Arrouays D., Feller C., Jolivet C., Saby N., Andreux F., Bernoux M., Cerri C. (2003), « Estimation de stocks de Carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps », *Étude et Gestion des Sols*, **10**, 4 : 347 – 356
- Busson F., Andriamiarinosy M., Monteils F., Randrianarison M. (2009), *REDD à Madagascar Etat des lieux et expériences en cours*, Green Synergy, Unpublished report to the Madagascar REDD, Technical Committee
- GIEC (2001), *Changement Climatique 2001 Rapport de Synthèse Résumé à l'intention des décideurs*, Wembley, RU
- Grinand C., Rajaonarivo R., Bernoux M., Pajot V., Brossard M., Razafimbelo T., Albrecht A. (2009), « Estimation des stocks de Carbone dans les sols de Madagascar », *Etude et Gestion des Sols*, **16** : 23-33.



## Effet allélochimique des composés phénoliques d'une litière de sphaignes sur le fonctionnement d'une tourbière soumise à un forçage climatique expérimental

**BINET Philippe<sup>1</sup>, ROUFED Soraya<sup>1</sup>, JASSEY Vincent EJ<sup>1</sup>, TOUSSAINT Marie-Laure<sup>1</sup> et CHIAPUSIO Geneviève<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Laboratoire Chrono Environnement, UMR 6249 du CNRS, 4 Place Tharradin 252111 Montbéliard Cedex, [philippe.binet@univ-fcomte.fr](mailto:philippe.binet@univ-fcomte.fr)

### Introduction

Les composés allélopathiques regroupent plusieurs familles de molécules issues du métabolisme secondaire des plantes, dont les composés phénoliques, qui s'accumulent dans les humus forestiers principalement par l'intermédiaire des litières de feuilles (Rice 1984). Ces composés ont un rôle potentiel dans des mécanismes écologiques impliqués dans le fonctionnement des écosystèmes, par exemple dans les successions végétales, en particulier les écosystèmes forestiers boréaux (Chiapusio *et al.*, 2008). Cependant, le rôle écologique des composés phénoliques dans le fonctionnement de milieux essentiellement organiques que constituent les tourbières n'a pas été étudié. Bien qu'elles ne recouvrent seulement que 3 % de la surface terrestre mondiale, les tourbières stockent environ le tiers du carbone total contenu dans les sols soit environ 450 Gt (Yu *et al.* 2011). La compréhension des facteurs pouvant influencer leur réponse aux changements climatiques représentent donc un enjeu majeur dans le contexte actuel de limitation des rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

L'accumulation du carbone dans les tourbières résulte principalement du développement de bryophytes du genre *Sphagnum*, qualifiés de « végétaux ingénieurs » et pouvant représenter plus de 80 % du couvert végétal. La domination des sphaignes dans les tourbières est communément attribuée à leur faculté à façonner le milieu à leur avantage en maintenant des conditions acides et en appauvrissant le milieu en éléments minéraux disponibles au détriment des activités microbiennes et des végétaux vasculaires (Van Breemen, 1995).

Nous avons émis l'hypothèse que

- 1) la compétitivité des sphaignes pouvait être également expliquée par des mécanismes allélochimiques liés aux composés polyphénoliques sur les plantes vasculaires et les activités microbiennes présentes sur la tourbière.
- 2) ces composés allélopathiques pouvaient permettre de mieux comprendre les réponses des tourbières au changement climatique.

Pour tester ces hypothèses un dispositif expérimental a été mis en place dans le Jura afin de mesurer *in situ* l'impact d'un réchauffement modéré sur le fonctionnement d'une tourbière à sphaigne. L'objectif de cette présentation est d'effectuer un bilan de quatre années de mesures *in situ*.

### Dispositif expérimental

Le dispositif *in situ* a été mise en place sur la tourbière du Forbonnet (Commune de Frasnes, Franche Comté) car elle est peu affectée par des perturbations anthropiques. Cette tourbière se caractérise par une zone de transition entre un bas-marais et un haut-marais sur laquelle le dispositif expérimental a été installé. Le milieu est très largement colonisé par les sphaignes, représentant 50 à 70% du couvert végétal.

Douze placettes d'échantillonnages et de mesures ont été définies le long de la zone de transition, délimitant deux zones écologiques : une zone dite de « haut-marais » (Bog) et une zone dite de « bas-marais » (Fen). Dans chacune des deux zones, trois parcelles

témoins (climat ambiant) et trois parcelles équipées d'un dispositif de réchauffement Open Top Chamber (OTC) ont été mises en place (Jassey *et al.*, 2011). Initialement mise en place en juin 2008 dans le cadre d'un programme ANR (PEATWARM), ce dispositif a intégré un Système d'Observation sur les tourbières labellisé par l'INSU en février 2012. Depuis 2008, des campagnes de prélèvements sont réalisées en juin au moment de la reprise de végétation. Dans chaque parcelle, des échantillonnages de sphaignes à deux profondeurs (0-3 et 3-9 cm) sont effectués pour les dosages de polyphénols, les mesures des communautés microbiennes et de leurs activités. De même des prélèvements de racines d'andromède (une éricacée endémique des tourbières) sont réalisés pour des mesures de dynamique de mycorhization.

## Résultats et Discussion

Les mesures pluriannuelles ont montré que les concentrations en composés phénoliques étaient systématiquement plus importantes dans les litières de sphaignes dans la zone dite Bog par rapport à la zone dite Fen. Ces différences de concentrations de composés polyphénoliques ont eu un effet direct sur la répartition des communautés microbiennes entre les deux zones écologiques et sur la dynamique de mycorhization de l'andromède. En effet une corrélation négative a été mise en évidence entre le taux de mycorhization des racines et la concentration en polyphénols le long du gradient écologique ( $r_s = -0,5$ ,  $p = 0,0002$ ). Nous avons également démontré un effet phytotoxique d'extraits de sphaigne sur la germination des graines et/ou sur la croissance des racines de plantes présentes sur la tourbière comme le pin à crochet.

La présence des OTC s'est traduite par une augmentation moyenne de 1°C de la température de l'air ambiant. Nous avons constaté une diminution de la concentration en composés polyphénoliques dans les parcelles équipées d'OTC, principalement dans la zone du Fen. Parallèlement nous avons mesuré une modification des communautés microbiennes et une augmentation de la mycorhization de l'andromède également dans les parcelles réchauffées du Fen.

Cette étude suggère donc un effet allélochimique des composés phénoliques accumulés dans les litières de sphaignes et leur rôle dans le fonctionnement d'une tourbière à sphaigne soumise à une élévation de la température. Cependant, en fonction des contextes écologiques, les réponses des tourbières au réchauffement climatique sont très variables.

## Bibliographie

Chiapusio G, Pellissier F, Gallet C (2008) A la découverte de molécules allélopathiques phytotoxiques dans les écosystèmes forestiers et les agrosystèmes. In : *Biopesticides d'origine végétale* (eds. Regnault-Roger C, Philogène B, Vincent C), pp. 65-86 Editions Lavoisier, collection Tech et Doc.

Jassey V E J, Chiapusio G, Gilbert D, Buttler A, Toussaint M L, Binet P (2011) Experimental climate effect on seasonal variability of polyphenol/phenoloxidase interplay along a narrow fen-bog ecological gradient in *Sphagnum fallax*. *Global Change Biology*, **17**, 2945-2957.

Rice E L (1984) Allelopathy. Second Edition. Academic Press, New York

Van Breemen N (1995) How *Sphagnum* Bogs Down Other Plants. *Trends in Ecology & Evolution*, **10**, 270-275

Yu, Z., Beilman, D.W., Frohling, S., MacDonald, G.M., Roulet, N.T., Camill, P. & Charman, D.J. (2011) Peatlands and Their Role in the Global Carbon Cycle. *Eos*, **92**

## Effets d'une manipulation climatique sur la dynamique saisonnière de la décomposition microbienne de la matière organique du sol

PUISSANT Jérémy<sup>1</sup>, CECILLON Lauric<sup>1</sup>, MILLS Robert<sup>2</sup>, DE DANIELI Sébastien<sup>1</sup>, GAVAZOV Konstantin<sup>2</sup>, ROBROEK Bjorn<sup>2</sup>, SPIEGELBERGER Thomas<sup>1,2</sup>, BUTTLER Alexandre.<sup>2</sup>, BRUN Jean-Jacques<sup>1</sup>

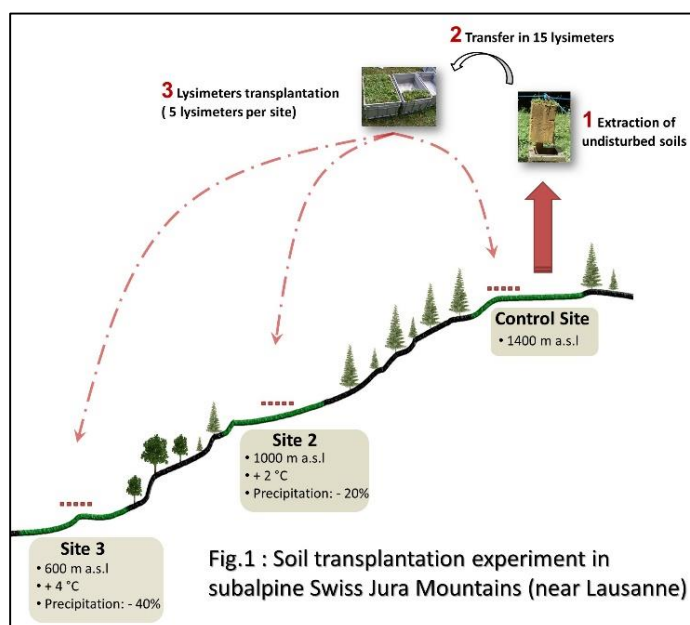
<sup>1</sup> Irstea, UR EMGR Ecosystèmes montagnards, 2 rue de la 12 Papeterie-BP 76 Saint-Martin-d'Hères, 38402, France, [jeremy.puissant@irstea.fr](mailto:jeremy.puissant@irstea.fr), [lauric.cecillon@irstea.fr](mailto:lauric.cecillon@irstea.fr), [sebastien.de-danieli@irstea.fr](mailto:sebastien.de-danieli@irstea.fr), [thomas.spiegelberger@irstea.fr](mailto:thomas.spiegelberger@irstea.fr), [jean-jacques.brun@irstea.fr](mailto:jean-jacques.brun@irstea.fr)

<sup>2</sup> EPFL-ENAC-ECOS, Bâtiment GR, Station 2 CH-1015 Lausanne, Suisse, [robert.mills@wsl.ch](mailto:robert.mills@wsl.ch), [konstantin.gavazov@epfl.ch](mailto:konstantin.gavazov@epfl.ch), [b.j.m.robroek@uu.nl](mailto:b.j.m.robroek@uu.nl), [alexandre.buttler@epfl.ch](mailto:alexandre.buttler@epfl.ch)

Les sols de montagne stockent de grandes quantités de carbone organique qui pourraient être hautement vulnérables au changement climatique. La conversion de ce carbone organique en carbone atmosphérique s'effectue par les biais de la décomposition microbienne. Les communautés microbiennes diffusent à travers la matrice du sol de nombreuses enzymes extracellulaires (EE) dont le rôle va consister à dépolymériser la matière organique (MO) du sol afin de la rendre disponible pour la respiration des communautés microbiennes. Le taux de décomposition de la MO dépend des conditions climatiques (température et humidité) modifiant la cinétique de réaction et la diffusion des EE à travers le sol ainsi que de la quantité d'EE produites par les organismes. La production d'EE du sol dépendant elle même directement des caractéristiques du compartiment microbien (structure, abondance, stratégie d'acquisition des ressources). A l'heure actuelle, de nombreuses interrogations subsistent quant au devenir des mécanismes microbiens de décomposition sous l'effet du changement des conditions climatiques. L'incapacité à comprendre les interactions climat/organismes du sol/décomposition, entrave la construction de modèles mécanistes de la dynamique des stocks de carbone dans les sols.

Dans cette étude réalisée dans le Jura suisse, une transplantation altitudinale de sol de prairie subalpine est mise en place en 2009 afin de simuler deux scénarios de changement climatique d'intensité différente (Figure 1). Le scénario le plus intense consiste en une diminution des précipitations de l'ordre de 40% et une augmentation de la température annuelle moyenne de 4°C, contre -20% de précipitations et +2°C pour le moins intense.

L'objectif premier de ce travail est d'étudier l'influence de la manipulation climatique sur les activités enzymatiques potentielles du sol au cours de la quatrième année d'expérimentation (4 saisons). Plus précisément, nous étudions, huit enzymes intervenant dans la décomposition des principaux composés biochimiques caractéristiques



de la MO du sol (cycle du C, N et P), ainsi qu'un indicateur de l'activité enzymatique potentielle globale (Hydrolyse de la fluorescéine di-acétate FDA). Notre deuxième objectif est d'appréhender les interactions entre le pool d'EE du sol et les caractéristiques du compartiment microbien, l'abondance et la structure des communautés microbiennes sont également suivis par le biais d'une extraction-fumigation (biomasse microbienne) et d'une détermination des PLFAs (structure des communautés).

Nos résultats confirment le fort effet saisonnier sur les activités enzymatiques potentielles du sol. La quantité globale d'EE du sol est nettement plus importante en hiver et au printemps qu'en été et automne. Cependant, les enzymes impliquées dans le cycle de l'azote et du phosphore présentent une plus forte activité en automne. Nos résultats révèlent également un effet significatif du changement climatique simulé sur les activités enzymatiques potentielles. On remarque en effet une diminution générale de la quantité d'EE avec l'augmentation de la contrainte climatique, plus ou moins forte selon le type d'enzyme et la saison. La phénol-oxydase (enzyme oxydative) montre la réponse la plus intense à la manipulation climatique, quelque soit la saison, comparativement aux hydrolases. La structure des communautés microbiennes (PLFAs) varie fortement au cours des saisons, mais reste identique sous l'effet du changement climatique simulé. A l'opposé, l'abondance des communautés microbienne est fortement affectée par la transplantation mais peu affectée par les saisons, avec une diminution de celle-ci sous l'effet d'une contrainte climatique croissante. Il en résulte une variation systématique du ratio EE/biomasse microbienne (activité enzymatique spécifique) entre l'hiver et l'été. De manière surprenante et contradictoire avec les résultats obtenus pour les activités potentielles des EE du sol, on observe une perte de concentration en carbone organique sous l'effet de la transplantation avec une perte accrue sous le scénario intermédiaire du changement climatique. Il pourrait s'agir d'un optimum des conditions climatiques favorisant une forte décomposition de la MO, malgré un pool d'enzymes légèrement moins important et/ou d'une perte par lessivage. Cette hypothèse tient compte de résultats préalables montrant une légère diminution de la production de biomasse végétale sur le site intermédiaire.

Au final, notre étude montre un fort effet des conditions climatiques sur le pool des EE du sol, traduit par une forte fluctuation saisonnière et une diminution sous l'effet de l'augmentation des contraintes climatiques (augmentation de la température et diminution de la température du sol). Cet effet peut être direct (température, précipitation) ou indirect concernant l'effet saisonnier (nature du substrat, cycle de végétation, structure des communautés microbiennes). La phénol-oxydase, enzyme oxydative impliquée dans la dégradation de la lignine (composé récalcitrant) répond plus nettement à la contrainte climatique simulée comparativement aux autres enzymes (hydrolases), ce qui indique une réponse différente de ces deux types d'enzymes au changement climatique. Bien que les activités potentielles des EE du sol suivent le même patron que la biomasse microbienne sous l'effet du changement climatique simulé, la réponse saisonnière de leur ratio diffère. Ce résultat plaide pour une re-paramétrisation des modèles de dynamique du carbone basés sur les enzymes du sol, prenant en compte une variation saisonnière de l'activité spécifique des enzymes. Les communautés microbiennes ont la capacité de changer de structure rapidement entre l'été et l'hiver alors qu'elles ne sont pas affectées par le changement climatique simulé, suggérant un effet seuil des conditions climatiques ou une sensibilité à la nature du substrat. Enfin, les résultats obtenus sur le carbone organique soulignent la difficulté de relier directement les mesures d'activités enzymatiques potentielles réalisées en laboratoire à un pas de temps trimestriel (tests standards à 27° C), avec le taux réel de dégradation de la MO *in situ*.

## **Evaluation et caractérisation de la matière organique des sols du Nord Est Algérie, cas de la plaine d'El-Hadjar (Annaba).**

**SAMAÏ ibtissam<sup>1</sup>, BENSLAM mohamed<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doctorante, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. Laboratoire de recherches des sols et développement durable. Mail : [ibtissemecologie@yahoo.fr](mailto:ibtissemecologie@yahoo.fr)

<sup>2</sup>Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. Laboratoire de recherches des sols et développement durable. Mail : [bensamrane@yahoo.fr](mailto:bensamrane@yahoo.fr).

### **résumé:**

La matière organique des sols joue un rôle essentiel dans l'environnement. Elle constitue la substance indispensable au développement de la vie biologique, car elle est une source majeure de carbone et d'énergie pour les microorganismes. Elle conditionne les propriétés chimiques (stocks de carbone, d'azote et de phosphore), et physiques (perméabilité, stabilité structurale, capacité de rétention et de circulation en eau) du sol.

La matière organique a des fonctions biologiques, physiques et chimiques essentielles dans les sols qui a pour objectif de contrôler la qualité et la fertilité du sol.

La matière organique a des fonctions biologiques, physiques et chimiques essentielles dans les sols qui contrôlent la qualité et la fertilité du sol.

La matière organique est un élément moteur de la pédogenèse dans la mesure où elle oriente, d'une part le processus d'altération, et d'autre part les transferts de matière dans le profil (par redistribution au sein du profil).

La matière organique est considérée comme un facteur contrôlant l'effet de serre. L'accumulation de la matière organique sous forme d'humus dans les sols est considérée actuellement comme un moyen de lutte contre le réchauffement climatique. L'évaluation quantitative de la matière organique des sols de la plaine ouest d'El-Hadjar montre que la majorité des sols ont des teneurs qui sont concédérés comme moyenne voire faible.

La caractérisation qualitative montre la dominance des substances humiques ce qui implique que la matière organique de cette région est parfaitement liée à la fraction minérale du sol.

## **Interactions argilo-organiques en milieux sédimentaires : Etude comparative en milieux lacustre et marin et sous conditions in vitro.**

**Adoum MAHAMAT AHMAT, Mohammed BOUSSAFIR, Régis GUEGAN,  
Claude LE MILBEAU, Lydie LE FORESTIER.**

Les interactions argilo organiques interviennent dans chacune des étapes majeures de l'évolution diagénétique et thermo-barométrique de la Matière Organique (MO) sédimentaire. Lors de la genèse des argilites pétroligènes, elles sont impliquées dans les processus permettant la préservation de la MO échappant ainsi aux agents de recyclage biologique et aux facteurs de dégradation abiotiques. Divers modèles ont été proposées afin d'expliquer le processus de préservation : bio résistance héritée, sulfuration naturelle, adsorption sur particules minérales... Cependant, ces modèles considèrent la MO déjà intégrée aux sédiments, omettant de fait l'ensemble des altérations que celle-ci peut subir lors de son transfert au sein de la colonne d'eau. Afin de mieux comprendre la contribution des interactions organo-minérales au sein d'une colonne d'eau, notre étude tente de caractériser le processus d'adsorption de la MO sous différentes conditions. Trois types de support argileux (une kaolinite, une smectite naturelle et une smectite de synthèse) ont été soumis à différentes conditions environnementales. Nos sites d'études se situent en domaine marin (zone d'upwelling d'Antofagasta, Chili) et en domaine continental (Lac Pavin, France). Les travaux in situ ont été complétés par une approche in vitro.

Nous proposons dans ce travail une synthèse sur la dynamique d'adsorption de la MO soumise à différentes conditions physico-chimiques dans les milieux naturels. Les principaux objectifs portent sur la discrimination des zones physico-chimiques les plus propices aux seins des colonnes d'eaux stratifiées et sur la mise en évidence des familles moléculaires préférentiellement impliquées. La dynamique d'adsorption en milieu naturel est par la suite comparée à une série de simulations in vitro dans le but d'évaluer les effets environnementaux sur le processus d'interaction.

## Perte de masse et transformation de la matière organique de débris de bois enfouis dans le sol en milieu tropical humide

FUJISAKI Kenji<sup>1,2</sup>, PERRIN Anne-Sophie<sup>1</sup>, GOGO Sébastien<sup>3</sup>, BOUSSAFIR Mohammed<sup>3</sup>, SARRAZIN Max<sup>4</sup> et BROSSARD Michel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CETIOM (Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre). En accueil à l'UMR Eco&Sols, 2 place Viala 34060 Montpellier cedex 2, France. [perrin@cetiom.fr](mailto:perrin@cetiom.fr)

<sup>2</sup> IRD, UMR Eco&Sols, 2 place Viala 34060 Montpellier cedex 2, France. [michel.brossard@ird.fr](mailto:michel.brossard@ird.fr) et [kenji.fujisaki@ird.fr](mailto:kenji.fujisaki@ird.fr)

<sup>3</sup> ISTO, UMR 7327 du CNRS / INSU / BRGM / Université d'Orléans, 1A rue de la Férellerie, 45071 Orléans, France. [sebastien.gogo@univ-orleans.fr](mailto:sebastien.gogo@univ-orleans.fr) et [mohammed.boussafir@univ-orleans.fr](mailto:mohammed.boussafir@univ-orleans.fr)

<sup>4</sup> IRD, US 122 LAMA, route de Montabo 97323 cedex Cayenne, Guyane française. [max.sarrazin@ird.fr](mailto:max.sarrazin@ird.fr)

La dynamique des litières et des amendements organiques est peu connue dans les sols cultivés des milieux tropicaux humides, malgré des enjeux importants en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de maintien des propriétés physico-chimiques des sols. Dans ce travail nous avons étudié le devenir de débris de bois enfouis dans le sol après déforestation sans brûlis et mise en culture, en Guyane française.

La biomasse et le stock de carbone des débris de bois > 4 mm ont été mesurés à 5 dates de prélèvements, jusqu'à 4 années après déforestation. La composition de la matière organique des débris de bois a été analysée par la pyrolyse Rock-Eval, permettant de distinguer en plus des paramètres classiques de cette méthode un pool de carbone labile (LabC) et un pool de carbone résistant (ResC) au sein de ces débris de bois.

La perte de masse des débris de bois a suivi une cinétique exponentielle de premier ordre, avec une demi-vie de 17,3 mois (Figure 1).

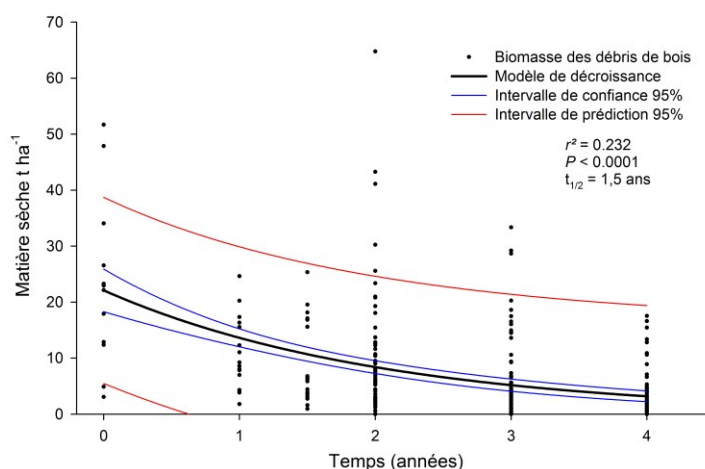


Figure 1 : Biomasse des débris de bois dans la couche 0-30 cm. n=266.

Durant la décomposition des débris de bois, leur rapport C/N, l'indice d'hydrogène et la proportion de carbone pyrolysé en dessous de 400°C ont diminué, montrant une rapide

déshydrogénation et décarboxylation de la matière organique. La matière organique des débris de bois n'a pas subi d'enrichissement en oxygène au cours du temps et les stocks des pools LabC et ResC ont tous deux décru, suggérant que l'humification des débris de bois a été très faible. L'agressivité du climat explique cette absence de préservation et de polymérisation de la matière organique des débris de bois, en accord avec la décomposition du premier ordre observée. La décomposition des débris de bois a contribué à l'augmentation du stock de carbone observée dans les fractions plus fines du sol (fragments végétaux > 2mm et terre fine < 2 mm) jusqu'à 1,5 années après déforestation (Figure 2).

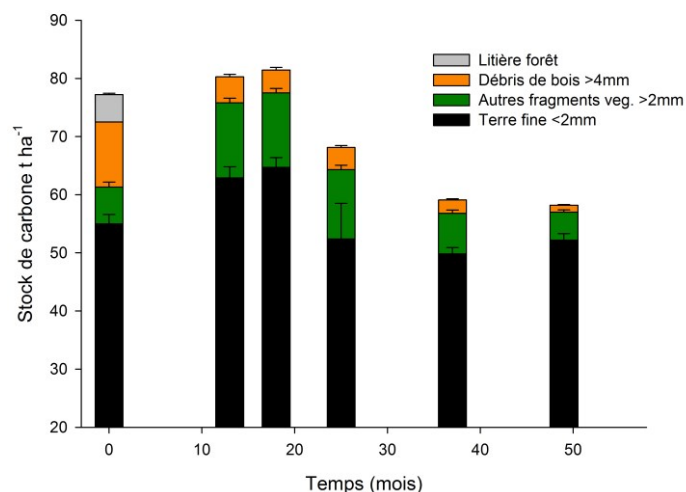


Figure 2 : Stock de carbone des différents compartiments du sol dans la couche 0-30 cm. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

Le carbone récemment incorporé au sol s'est ensuite rapidement minéralisé, comme en atteste la diminution globale du stock de carbone observée par la suite. Les bénéfices d'amendements ligneux en milieu tropical humide pour les stocks de carbone du sol sont par conséquent de courte durée. D'un point de vue méthodologique la pyrolyse Rock-Eval est une méthode simple et rapide permettant de caractériser la décomposition de la matière organique. Le couplage des paramètres Rock-Eval aux données de stock de carbone des débris de bois a permis de mettre en évidence la très faible humification et préservation des débris de bois suite à la mise en culture du sol.



## Caractérisation de la concentration en carbone organique du sol à l'échelle de la France par spectrométrie proche et moyen infrarouge

CLAIROTTE Michaël<sup>1</sup>, GRINAND Clovis<sup>2</sup>, KOUAKOUA Ernest<sup>2</sup>, THÉBAULT Aurélie<sup>1,3</sup>, JOLIVET Claudy<sup>4</sup>, ARROUAYS Dominique<sup>4</sup>, BERNOUX Martial<sup>2</sup>, BARTHÈS, Bernard<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : UMR Eco&Sols, INRA, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France ; <michael.clairotte@supagro.inra.fr>

<sup>2</sup> : UMR Eco&Sols, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France ; <c.grinand@etcterra.org>, <ernest.kouakoua@ird.fr>, <martial.bernoux@ird.fr>, <bernard.barthes@ird.fr>

<sup>3</sup> adresse actuelle : ITK, Cap Alpha, avenue de l'Europe, 34830 Clapiers, France ; <thebault.aurelie@gmail.com>

<sup>4</sup> : Infosol, INRA, BP 20619, 45166 Olivet, France ; <claudy.jolivet@orleans.inra.fr>, <dominique.arrouays@orleans.inra.fr>

### Résumé

La spectrométrie infrarouge quantitative permet la caractérisation rapide et peu coûteuse de nombreuses propriétés des sols, en particulier leur concentration en carbone organique ( $C_{org}$ ). Cette technique est basée sur des étalonnages, qui expriment les propriétés d'un échantillon (par exemple  $C_{org}$ ) en fonction de son spectre. Ces étalonnages sont construits à partir de la caractérisation conventionnelle et spectrale d'échantillons étalons, et permettent de prédire les propriétés considérées sur de nouveaux échantillons d'après leur seul spectre. Jusqu'à présent, la construction d'étalonnages de propriétés des sols valides sur de vastes territoires reste rare. Ce travail présente l'intérêt de la spectrométrie proche et moyen infrarouge (PIR et MIR, respectivement) pour caractériser  $C_{org}$  à l'échelle de la France.

Une grosse librairie spectrale a été constituée en utilisant une collection d'échantillons fournie par le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS, INRA-Orléans). Cette collection nationale comprend environ 3800 échantillons prélevés à 0-30 et 30-50 cm de profondeur sur la base d'une grille carrée de 16 km de côté sur tout le territoire métropolitain (552 000 km<sup>2</sup>). Les spectres de réflectance ont été acquis au laboratoire sur sol séché à l'air et broyé à 0.2 mm avec deux appareils : (i) un spectrophotomètre proche infrarouge NIRSystems 5000 (Foss, Silver Spring, MD, USA) couvrant le domaine 1100-2500 nm à un pas de 2 nm ; et (ii) un spectrophotomètre moyen infrarouge à transformée de Fourier Nicolet 6700 (Thermo Fisher Scientific, Madison, WI, USA) couvrant le domaine 4000-400 cm<sup>-1</sup> à un pas de 3.86 cm<sup>-1</sup>. Selon l'analyse conventionnelle de  $C_{org}$ , réalisée au laboratoire d'analyse des sols de l'INRA-Arras par combustion sèche après éventuelle décarbonatation (ISO 10694:1995),  $C_{org}$  sur la population d'échantillons considérée varie de 0.16 à 177 g kg<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 19.1 g kg<sup>-1</sup> et une médiane de 13.6 g kg<sup>-1</sup>. Toutes les analyses spectrales ont été réalisées avec le logiciel R et les packages *prospectr*, *pls* et *resemble*.

La population totale d'échantillons a été divisée en trois groupes : (i) une sous-population d'étalonnage sur laquelle ont été construits les modèles de prédiction ; cette sous-population incluait environ 3000 échantillons, sélectionnés avec l'algorithme de Kennard-Stone pour être les plus représentatifs spectralement de la population totale ; (ii) une sous-population de validation sur laquelle ont été testés les modèles ; cette sous-population comptait 380 échantillons sélectionnés avec le même algorithme pour être les mieux représentés par le reste de la population totale ; et (iii) une sous-population de réglage, regroupant les 380 échantillons restant, sur laquelle ont été déterminés certains paramètres des modèles, lorsque nécessaire. Le nombre d'échantillons d'étalonnage effectivement utilisés pour construire

les modèles a été varié de 10% à 100% de la sous-population d'étalonnage, afin d'identifier l'intensité d'étalonnage optimale (permettant d'obtenir un modèle précis avec un minimum d'étalons). Les étalonnages ont été réalisés par régression des moindres carrés partiels (PLS en anglais, pour partial least squares), soit globale, soit locale. Dans l'étalonnage global, un seul modèle est construit pour tous les échantillons à prédire (il s'agit du type de régression multivariée usuel actuellement en spectrométrie infrarouge quantitative). Dans l'étalonnage local, chaque échantillon est prédit à partir d'un modèle propre utilisant les étalons qui lui sont voisins spectralement, dont le mode de sélection et le nombre ont été définis sur la sous-population de réglage. La qualité des prédictions a été estimée sur la sous-population de validation à l'aide des critères suivants : erreur standard de prédiction corrigée du biais (SEPC, qu'on souhaite minimale) ; coefficient de détermination entre prédictions et mesures ( $R^2_{val}$ , qu'on souhaite le plus proche de 1) ; et coefficient RPD (ratio entre écart type de validation et SEPC, qu'on souhaite maximal).

Avec étalonnage global, le MIR donne des prédictions plus précises que le PIR sur les échantillons considérés : SEPC = 2.6 vs. 4.4 g kg<sup>-1</sup>,  $R^2_{val}$  = 0.88 vs. 0.87, et RPD = 2.7 vs. 2.3, respectivement ; on considère en général que les prédictions des propriétés des sols sont précises quand RPD  $\geq$  2, ce qui est ici le cas dans les deux domaines spectraux (Fig. 1). Les prédictions sont plus précises encore avec étalonnage local, et restent meilleures avec MIR qu'avec PIR : SEPC = 2.0 vs. 3.5 g kg<sup>-1</sup>,  $R^2_{val}$  = 0.92 vs. 0.89, RPD = 3.5 vs. 2.9. Ces résultats ont été obtenus en utilisant 100% des étalons ; mais l'intensité optimale d'étalonnage a été estimée à 30% de la sous-population d'étalonnage (utiliser plus d'étalons améliore faiblement les prédictions) ; dans ces conditions, avec étalonnage local, les critères de performance du modèle MIR sont les suivants : SEPC = 2.6 g kg<sup>-1</sup>,  $R^2_{val}$  = 0.88, RPD = 2.6. Sur une telle campagne d'échantillonnage, on peut donc n'analyser conventionnellement que 30% des échantillons pour prédire correctement les autres. Mais  $C_{org}$  ayant été déterminé sur tous les échantillons du RMQS, il est possible actuellement d'utiliser un modèle construit avec l'ensemble des 3800 échantillons pour prédire  $C_{org}$  sur n'importe quel sol de France avec une erreur standard de l'ordre de 2 g kg<sup>-1</sup> (si l'échantillon est bien représenté dans la population totale) ; cela rend la spectrométrie infrarouge de laboratoire compétitive avec les approches conventionnelles, surtout la spectrométrie MIR (au moins pour les sols des régions tempérées). Certaines voies sont susceptibles de permettre d'améliorer encore la précision des prédictions, par exemple le recours à certaines méthodes de régression multivariée non linéaires, ou l'augmentation de la population d'étalonnage (grille de prélèvement plus serrée).

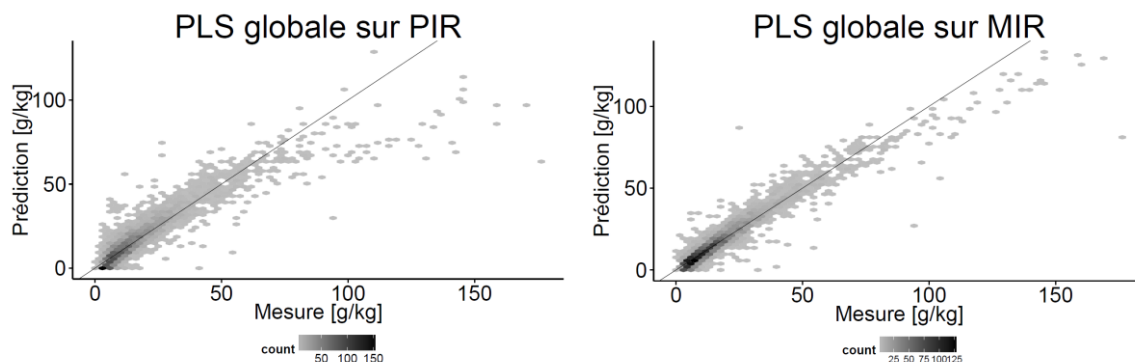


Fig. 1. Comparaisons sur la sous-population de validation entre mesures (combustion sèche) et prédictions de  $C_{org}$  par PLS globale en PIR (à gauche) et MIR (à droite) ; la droite représente la première bissectrice (prédiction = mesure).

## **Influence de vers de terre (*Lombricus terrestris*) sur l'incorporation de biomasses végétales marquées ( $^{13}\text{C}$ ) dans un sol en conditions contrôlées**

**VIDAL Alix<sup>1</sup>, QUENEA Katell<sup>1</sup>, ALEXIS Marie<sup>1</sup>, NGUYEN TU Thanh Thuy<sup>1</sup>,  
MATHIEU Jérôme<sup>2</sup>, VAURY Véronique<sup>2</sup> et DERENNE Sylvie<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>UMR METIS, 75252 Paris, France, alix.vidal@etu.upmc.fr

<sup>2</sup>UMR IEES, 75252 Paris, France

Le stock de carbone dans les sols représente environ 2500 Gt, soit trois fois plus que l'atmosphère (Lal, 2004). Cette séquestration est fortement dépendante du cycle de la matière organique. La préservation du carbone dans le sol est la résultante de deux grands mécanismes : l'altération (bio) chimique et la protection physico-chimique, dont le rôle respectif reste à explorer. Les vers de terre sont reconnus pour leur action sur la structure du sol et les cycles biogéochimiques. Ils participent à la décomposition, la répartition et la préservation du carbone organique dans le sol en l'incorporant dans des structures telles que les agrégats, les turricules et les galeries. L'objectif de cette étude est d'évaluer la dynamique de l'incorporation de la matière organique dans le sol et d'appréhender l'impact des vers de terre sur ce mécanisme. Dans cette étude, la matière organique est issue biomasse végétale de ray-grass d'Italie (*Lolium multiflorum*), préalablement enrichie en carbone 13. La litière est appliquée à la surface du sol, dans des mésocosmes. Des vers de terre anéciques (*Lombricus terrestris*) sont ajoutés dans certains mésocosmes. Des échantillons de sol sont ensuite prélevés en triplicat, à deux profondeurs, à cinq pas de temps, pendant huit semaines. Les analyses élémentaires et isotopiques des échantillons de sol et de turricules de vers de terre apporteront des résultats sur la vitesse d'incorporation et la localisation de la matière organique dans le sol, au cours de sa décomposition par les vers de terre. Ces données globales, couplées à de futures analyses à l'échelle moléculaire et microscopique, permettront d'enrichir les connaissances sur les mécanismes de préservation du carbone dans les sols et le rôle des vers de terre sur ce phénomène.

## Rôle de filaments carbonés abiotiques sur la stabilisation à long terme de cryosols du Spitzberg

COURTY Marie-Agnès<sup>1</sup> et MARLIN Christelle<sup>2</sup>

1. CNRS-UPR 8521 PROMES. Procédés et Matériaux Solaires.. Tecnosud. 66100 Perpignan, France. marie-agnes.courty@promes.cnrs.fr

2. UMR IDES 8148 CNRS – Université Paris-Sud 11 – Bât 504 – Université Paris Sud 91405 Orsay Cedex, France. christelle.marlin@u-psud.fr

### Introduction

Sous les hautes latitudes, la sévérité du climat avec le gel intense est considérée comme le facteur de pédogenèse le plus marquant. La cyclicité annuelle gel/dégel est vue comme facteur de renouvellement rapide de la micro-organisation des horizons de surface et de subsurface par la cryoturbation. Corrélativement, le régime de percolations rapides et concentrées associé est considéré comme un frein à la maturation sur le long terme d'horizons profonds par transferts de particules solides ou de solutés (par exemple de la dissolution-reprécipitation des carbonates). Cette dynamique pédologique explique que les mécanismes d'agrégation ait été peu étudiés. A la différence, de nombreux travaux ont porté sur les microagrégats (ou cryoconites) des surfaces glaciaires, composés de microorganismes, de matières organiques, de composés polymériques filamenteux et de particules minérales. L'hypothèse d'un développement de cyanobactéries sur un substrat glaciaire ensemencé d'aérosols minéraux est largement admise. L'étude présentée a pour objectif d'identifier dans les cryosols des microagrégats semblables aux cryoconites biogéniques des surfaces glacées, de clarifier leur origine, d'élucider leur signification environnementale et de comprendre leur incidence sur la dynamique pédologique.

### Matériaux et méthodes

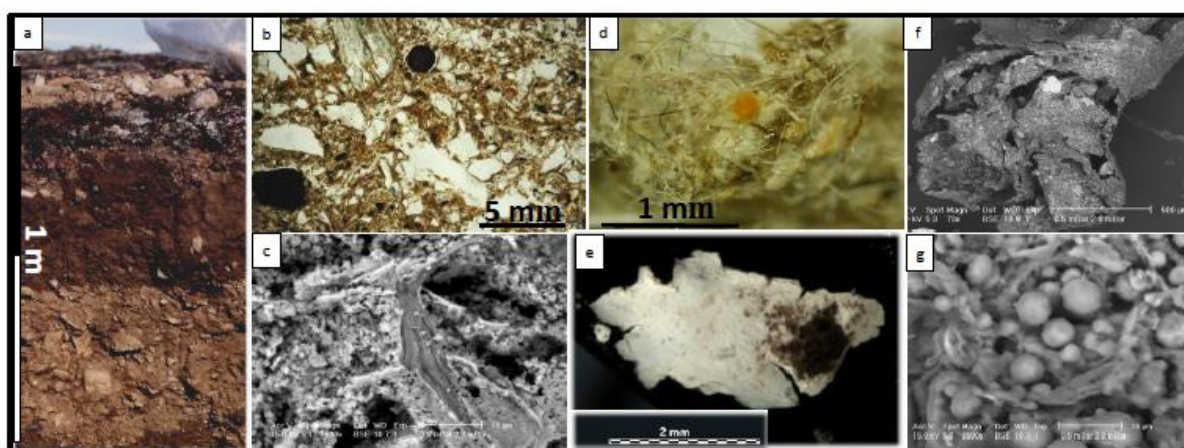
Le contexte d'étude est localisé sur la commune de Ny-ålesund au Spitzberg (archipel du Svalbard). Le climat est polaire océanique avec deux saisons qui déterminent un cycle de gel-dégel annuel. Une butte plane en légère pente de dépôts fluvio-glaciaires grossiers a été choisie comme site pilote pour étudier le rôle des facteurs stationnels (horizonation, drainage, topographie, matériaux parentaux) et climatiques sur la redistribution des carbonates. Des études hydrogéochimiques et micromorphologiques préalables ont montré que (1) la redistribution de calcite répond sous les conditions actuelles à l'exclusion ionique lors de la prise en gel des solutions; (2) ce processus pédologique a fonctionné de manière discontinu au cours de l'Holocène aboutissant à la formation de barbes calcitiques à la base des fragments grossiers; (3) que leur polyphasage exprime une accrétion séquentielle rythmée par les changements climatiques enregistrés depuis le dernier retrait glaciaire. Ces travaux antérieurs n'ont pas permis d'élucider la contradiction apparente entre la préservation d'archives environnementales longue durée et la dynamique active des cryosols. Cinq fosses d'un mètre, espacées de quelques mètres, ont été creusées sur la butte. Une caractérisation multi-analytique non destructive des assemblages pédologiques à différentes échelles a été réalisée (Binoculaire, MPol, MEB-ESEM/EDS, TEM, spectrométrie Raman, DRX), couplée à l'analyse isotopique des composés carbonés ( $C_{13}$ ,  $O_{18}$ ,  $C_{14}$ ).

### Résultats

L'étude morphologique aux différentes échelles montre une forte variabilité le long de la butte dans l'horizonation des profils, le degré de cryoturbation et le développement des barbes calcitiques. Pour le profil P0 (point haut), une corrélation est observée entre la présence d'un horizon de subsurface (5-15 cm) argilo-organique de structure microagrégé sans micro-organisations cryogéniques (Fig. 1a, 1b & 1c), une horizonation sub-horizontale sur l'ensemble de la séquence exposée avec une micro-organisations cryogénique

lenticulaire bien exprimée, et la présence de barbes polyphasées toujours en position de formation jusqu'à l'horizon C atteint (sables gravillonnaires fluvio-glaciaires non pédogénisés); elles ont toutes une activité  $C_{14}$  faible. Le long de la pente, l'horizon fin disparaît, l'horizonation devient irrégulière avec des micro-organisations cryogéniques subverticales, les barbes calcitiques polyphasées sont rares, cassées, en position variable et d'activité  $C_{14}$  faible à moyenne. Les tris granulométriques réalisés sur la matrice fine intacte permettent d'extraire des agrégats millimétriques constitués d'un enchevêtrement de films composites argilo-organiques en rubans plissés. Ces agrégats (Fig. 1d) sont constitués d'un assemblage dense de particules minérales anguleuses exogènes (quartz, zircons, argiles, spinelles, oxydes de fer, monazite, xénotime, microbrèches, carbone vitreux, micro-charbons graphitisés), incrustés de goutellettes métalliques (Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Ag, Au), de films composites carbone/métaux/oxydes métalliques (Fig. 1e) serties dans un ciment argilo-carboné nanostructuré (Fig. 1g). Les filaments nanostructurés sont constitués d'une matrice de paraffine cristallisée riche en nanoparticules bien calibrées (argiles, graphite, métaux, oxydes). Les tris sur les autres profils permettent de repérer des composés exogènes aux mêmes caractéristiques et des filaments carbonés, mais épars, aux contours abrasés, et inclus dans les microorganisations cryogéniques en mélange avec la composante locale.

Figure 1. (a) Profil P0 de la côte 80 de Ny Alesünd : horizon de subsurface argilo-limoneux. (b) Vue en lame mince (lumière naturelle non polarisée) de cet horizon : structure dense micro-agrégée, absence de traits périglaciaires, concentrations localisées d'argiles organiques. (c) Détail au MEB en mode BSE d'une concentration : continuum entre des films carbonés nanostructurés (en gris) et la masse fine constituée de particules micro à nanométriques. (d) Agrégat riche en filaments carbonés. (e) Film de polymère aliphatique revêtu d'oxyde de zinc nanostructuré (blanc) et de carbone graphitique (noir). (f) Vue au MEB en mode BSE de cet agrégat : structure en rubans plissés des films argilo-organiques. (g) Détail au MEB en mode secondaire : étroite imbrication de sphérules carbonées et des filaments carbonés nanostructurés.



## Conclusions

Les travaux en cours sur d'autres contextes permettent avec l'appui d'expérimentation, d'analogues et de modélisation d'interpréter l'horizon fin de subsurface comme un niveau d'accumulation d'aérosols terrestres, transformés par voies plasmas à la suite de phénomènes atmosphériques haute vitesse (météore, météorite, avions hypersoniques). Les filaments carbonés sont identiques à ceux décrits dans les cryoconites collectés sur les surfaces glaciaires. Leur nanoorganisation et leur composition chimique excluent une origine biogénique. La formation du niveau d'aérosols peut être mise en relation avec un épisode de l'Holocène marqué une augmentation synchrone de l'empoussièrement atmosphérique et de phénomènes cosmiques. La présence de carbone ancien dans les aérosols ne permet pas encore de dater précisément cet épisode. Les résultats suggèrent que l'atténuation des effets des cycles-dégel par les filaments carbonés (plastiques, hydrofuges, isolant thermique) a permis le maintien au long terme de microsites d'interactions entre composés minéraux, organiques et gaz du sol, bien exprimé par les barbes calcitiques polyphasées. La dégradation des microorganisations marque une destruction irréversible des filaments carbonés abiotiques, indice d'une perturbation récente du fonctionnement pédologique liée probablement à une acidification des précipitations par les activités industrielles.

## L'apport des dispositifs de suivi pour la réponse aux questions prégnantes sur les sols

**NICOLAS Manuel<sup>1</sup>, JOLIVET Claudy<sup>2</sup>, JONARD Mathieu<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Office National des Forêts, Département R&D  
Boulevard de Constance  
F- 77300 FONTAINEBLEAU  
Tél. : 01 60 74 92 28, Mel : [manuel.nicolas@onf.fr](mailto:manuel.nicolas@onf.fr)

<sup>2</sup> INRA Centre de Recherches Val de Loire  
2163 avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon  
F- 45075 ORLÉANS Cedex 2  
Tel : 02 38 41 48 24, Mel : [claudy.jolivet@orleans.inra.fr](mailto:claudy.jolivet@orleans.inra.fr)

<sup>3</sup> Université Catholique de Louvain, Earth and Life Institute /  
Environmental Sciences (ELI-e)  
Croix du Sud 2  
1348 LOUVAIN-LA-NEUVE, BELGIQUE  
Tel : +32 10 47 25 48, Mel : [mathieu.jonard@uclouvain.be](mailto:mathieu.jonard@uclouvain.be)

En France, 3 réseaux nationaux de monitoring s'intéressent à l'évolution du sol et/ou de la forêt en relation avec le sol. Initialement conçus pour suivre l'effet des pollutions atmosphériques sur la santé des forêts, le réseau systématique de suivi des dommages forestiers et le réseau RENECOFOR correspondent aux deux composantes extensive et intensive du monitoring forestier européen (ICP Forests). Créé plus récemment, le RMQS suit spécifiquement la qualité des sols en élargissant le maillage extensif à leurs autres usages (cultures, prairies, milieux naturels).

Face aux incertitudes liées aux changements environnementaux, le monitoring est un outil complémentaire de la recherche et une composante essentielle de la gestion durable des forêts et des sols. Initiatives pionnières et encore jeunes au regard de la vitesse d'évolution des sols et des forêts, les réseaux de monitoring ont néanmoins déjà apporté de nombreux résultats originaux et démontré leur potentiel à répondre à des attentes de plus en plus diversifiées.

1. Les premières mesures effectuées sur les dispositifs de monitoring ont d'abord permis de caractériser la variabilité spatiale de nombreux paramètres des forêts et des sols, suivant des méthodes homogènes aux échelles nationales et européenne.
2. Le monitoring apporte de nombreux résultats originaux sur l'évolution des forêts ces 20 dernières années en relation avec leur environnement : par exemple la baisse tendancielle de la nutrition des arbres en phosphore, plus prononcée dans les contextes de sol acide. Concernant le suivi des sols, la seconde campagne de mesure sur le réseau RENECOFOR est juste achevée et permet de mettre en évidence des premières évolutions temporelles significatives sur les stocks de carbone.
3. Le monitoring est un support pour la recherche et la compréhension des processus. Ses bases de données de qualité sont utiles à calibrer et/ou valider des modèles, voire simuler des scénarios d'évolution future. Ses sites et ses échantillons archivés en pédothèque servent à des mesures complémentaires. La quantification des incertitudes, nécessaire au suivi temporel, bénéficie au développement des méthodes de mesure.

## **Minéralisation de l'azote du sol dans un peuplement pur et mixte d'*Eucalyptus urophylla* x *grandis* et d'*Acacia mangium* et dans une savane, dans le sud-ouest du Congo**

**TCHICHELLE Sogni Viviane<sup>1,2</sup>, KOUTIKA Lydie-Stella<sup>1</sup>, EPRON Daniel<sup>2</sup>,  
HARMAND Jean-Michel<sup>3</sup>, BOUILLET Jean-Pierre<sup>3</sup>, MARESCHAL Louis<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>CRDPI, UR Plante et Milieu, BP 1291 Pointe-Noire, République du Congo

<sup>2</sup>Université de Lorraine, UMR 1137, Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

<sup>3</sup>CIRAD, UMR Eco&Sols, Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, 2 Place Viala, F34060 Montpellier, France

La gestion des sols de plantations industrielles représente un enjeu essentiel pour le maintien de leur fertilité à long terme. Couvrant seulement 5% de la surface forestière mondiale, les plantations répondent à un tiers de la demande en bois de plus en plus forte. L'une des solutions pour assurer leur capacité de production est la fertilisation chimique. Prenant en compte le coût élevé de la fertilisation et ses effets parfois néfastes sur l'environnement, la recherche s'oriente de plus en plus vers des solutions alternatives telles que l'intensification écologique.

Dans les régions avec des sols pauvres comme dans la plupart des zones tropicales et intertropicales, la gestion de l'azote, qui est un des nutriments majeurs limitant la productivité, est une réelle préoccupation. Les plantations mixtes associant une espèce fixatrice d'azote atmosphérique et une espèce non fixatrice est l'une des alternatives possible à la fertilisation azotée.

Le genre *Eucalyptus* est le plus planté en région subtropicale en raison de sa croissance très rapide. Depuis 1978, 42000 ha d'eucalyptus clonaux ont été établit sur les savanes côtières de Pointe-Noire, au Congo. Avec 90% de sable, ces sols sont particulièrement pauvres en éléments minéraux et en matière organique avec une carence forte en azote. Un essai d'introduction d'*acacia mangium* dans cette monoculture d'eucalyptus est en cours (seconde rotation des traitements, âgés actuellement de 2 années) afin d'en déterminer l'effet sur le cycle de l'azote, la nutrition et la croissance des peuplements.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet du mélange d'espèces sur la minéralisation de l'azote du sol et de comparer les plantations forestières avec l'écosystème originel de savane.

Un suivi mensuel de la minéralisation de l'azote a été réalisé par incubation *in situ* durant deux ans dans les peuplements purs d'eucalyptus et d'acacia, dans le mélange (50% des deux espèces), et dans la savane originelle. Après extraction au KCl des sols prélevés, un dosage de  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  par colorimétrie a été réalisé.

Les résultats montrent une faible minéralisation en savane avec une production de nitrate quasiment nulle. La minéralisation de l'azote est plus élevée en plantation et est beaucoup plus importante en présence d'acacia.

La minéralisation la plus forte est observée dans la monoculture d'acacia, suivi du mélange, et la plus faible dans la monoculture d'eucalyptus.

L'analyse des concentrations en azote des chutes de litière, permet de constater qu'il y a plus d'azote dans les feuilles d'acacia. Ceci explique la minéralisation plus élevée de l'azote dans le mélange que dans la monoculture d'eucalyptus.

Dans cette étude, nous avons montré que l'azote est très peu minéralisé en savane essentiellement dû au brulis annuels qui limite les stocks de matière organique du sol. L'introduction de l'acacia accroît la minéralisation de l'azote du sol par rapport à l'eucalyptus pur et la savane originelle. Un marquage du sol avec de l'azote  $^{15}\text{N}$  a été réalisé pour évaluer la fixation symbiotique des acacias dans un tel système. L'introduction d'acacia dans les monocultures d'eucalyptus semble dynamiser le cycle de l'azote. Ce travail sera complété par l'analyse des relations de facilitation et de compétition entre les deux espèces associées.



## Influence du climat et des facteurs pédologiques sur la nutrition et la productivité de *Salix miyabeana* SX 67 en régis de culture intensive

FONTANA Mario<sup>12</sup>, LABRECQUE Michel<sup>12</sup>, COURCHESNE François<sup>3</sup>,  
BÉLANGER Nicolas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Centre d'étude de la forêt, Université du Québec à Montréal, Pavillon des Sciences biologiques

141 Président-Kennedy, bureau SB-2987 Montréal (Québec) H2X 1Y4 Canada

<sup>2</sup> : Institut de recherche en biologie végétale, Biodiversity Centre  
4101 Sherbrooke East, Montreal, QC H1X 2B2, Canada

<sup>3</sup> : Département de géographie, Université de Montréal, Pav.M.Caron-L.Groulx-3200 J.B.

Courriel : fontanamario@hotmail.com

**Mots clés** : Saule, Productivité, Nutrition, traits foliaires.

Depuis l'antiquité jusqu'à nos jours, *Salix* spp. est utilisé à des fins très diverses (stabilisation des berges, fabrication de flûtes, de paniers et d'aspirine, phytoextraction, phytoépuration, matériaux de construction, mur antibruit, bioénergie, etc. (Keoleian 2005)). Dans le sud du Québec, la culture intensive sur courte rotation (CICR) de *Salix* connaît un certain engouement, notamment du fait qu'elle constitue une option pour valoriser des milliers d'hectares de terres marginalisées par les mauvaises pratiques agricoles passées. Outre l'intérêt pour une industrie de la bioénergie, le *Salix*, un genre pionnier à croissance rapide, permet d'améliorer les propriétés agronomiques en augmentant la teneur en matière organique du sol, spécifiquement sur les sols les plus pauvres. La procédure classique à l'établissement d'une CICR de *Salix* consiste à planter des boutures de 20 cm et à récolter la biomasse (tiges) sur des rotations de 3 à 5 ans après un recépage initial à la fin de la première année de croissance qui sert à optimiser le développement du système racinaire.

Le but de ce travail était principalement d'améliorer les connaissances concernant les effets des facteurs pédo-climatiques sur la productivité de *Salix miyabeana* SX67. Cette étude a été menée à partir d'un réseau de 10 CICR de *Salix miyabeana* dispersées dans le Québec méridional sur des sols très hétérogènes dont les dispositifs (densité, arrangement en rangée, etc.) sont identiques et les historiques d'établissement sont bien connus. Pour chacun des sites, nous avons mesuré dans 5 placettes les variables suivantes :

- Les propriétés physico-chimiques des sols (cations échangeables et chimie totale à 0-25 cm et 25-50 cm, densité à 0-5 cm, 20-25 cm et 40-45 cm);
- Certains traits foliaires (surface, masse, chlorophylle, densité des stomates) au cours de 2 à 3 années successives;
- Les teneurs en nutriments foliaires (C, N, P, K, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn) au cours de 3 années successives.

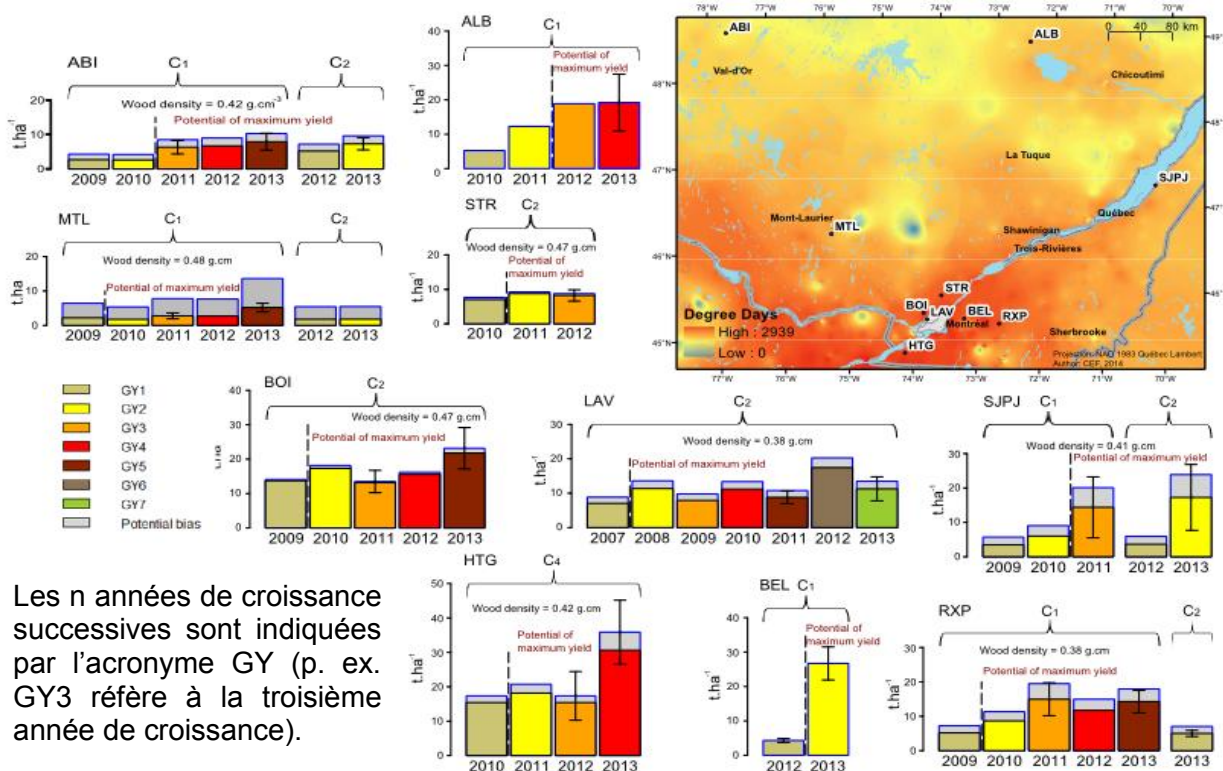
En 2011, sur la majorité des sites, nous avons échantillonné la biomasse dans 9 placettes constituées chacune de 4 *Salix miyabeana* contigus. À partir de ces données, nous avons établi une relation linéaire entre les surfaces basales des plus grosses tiges et les biomasses sèches des arbustes ( $R^2=0,86$ ), indépendamment du site, de l'âge des tiges et de l'âge du système racinaire. Cette relation a pu être confirmée en joignant toutes les bases de données historiques disponibles pour *Salix miyabeana* SX 67. Ainsi, cette relation fût mise à profit afin de déduire la productivité passée de chaque site à partir d'analyses de cernes des tiges principales. Il ressort que la dynamique de croissance annuelle et l'effet du recépage, qui diminue ainsi drastiquement le ratio tige/racine, sont très spécifiques au site (figure1).

Également, les conditions climatiques ont été modélisées annuellement pour chaque site à l'aide du modèle mathématique BioSIM.

Par l'entremise d'analyses multivariées, nous souhaitons discriminer et quantifier l'impact des propriétés pédologiques et des conditions climatiques sur la productivité de *Salix miyabeana* SX 67. Plusieurs modèles ont été testés afin de confronter les échelles de résolution spatiales (placettes à l'échelle locale, sites à l'échelle régionale) et temporelles (productivité annuelle, productivité de l'ensemble des années) et d'en dégager le maximum de convergence. Les résultats confirment que le potentiel de productivité maximal de *Salix miyabeana* est atteint asymptotiquement après une période d'environ 2 à 4 ans (Kopp *et al.* 2001). Celui-ci semble contrôlé par les propriétés pédologiques à une échelle fine (p. ex. variabilité intra-site) ainsi qu'à l'échelle du paysage. Cependant l'amplitude des variations interannuelles de productivité induite par les conditions climatiques était variable au sein de chaque site, dépendamment des propriétés pédologiques.

Les relations entre les nutriments foliaires, les traits foliaires et le climat selon les propriétés physico-chimiques des sols ont été mises en évidence et quantifiées par l'entremise de modèles linéaires (multilinéaires et modèles mixtes) et d'analyses multivariées.

Les traits et les nutriments foliaires de *S. miyabeana* SX 67 sont liés principalement et symptomatiquement aux propriétés pédologiques ainsi qu'aux conditions climatiques dans une moindre mesure. Ces modèles permettent de diagnostiquer le potentiel de productivité maximal offert par le sol.



**Figure 1:** Estimation des productivités annuelles passées concernant le n<sup>ème</sup> cycle (C<sub>n</sub>) sur chacun des sites. Les lignes discontinues indiquent le seuil après lequel le potentiel maximal de productivité est atteint.

Keoleian G.A. (2005). Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Plant Sciences* 24, 385-406.

Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H., Volk T.A., Nowak C.A. & Fillhart R.C. (2001). Willow biomass production during ten successive annual harvests. *Biomass and Bioenergy*, 20, 1-7.

## **Utilisation des isotopes stables dans les écosystèmes forestiers : cas des isotopes "non traditionnels" (Mg, B, Li)**

**Emile B. BOLOU-BI**

Institut d'Ecologie et des sciences de l'environnement de Paris (IEES) ; Equipe DIIM - Diversité des ingénieurs et interactions microbiennes ; Université Paris Est Creteil Val de Marne  
61 avenue du General de Gaulle 94010 Creteil cedex, France, emile.bolou\_bi@geo.uu.se

L'altération des minéraux dans les sols joue un rôle essentiel dans la viabilité des écosystèmes forestiers en apportant les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes. L'apport de nutriments à la solution du sol se fait via la dissolution induite par les processus biologiques ou purement géochimiques, des phases minérales. Autant les processus géochimiques semblent bien contraints, autant le rôle des agents biologiques et leur contribution aux flux de cations dissous dans les solutions restent un enjeu scientifique majeur, avec comme question clé : « comment les processus d'altération dans les sols seraient capables de maintenir la disponibilité des nutriments pour une productivité de biomasse végétale élevée dans les écosystèmes forestiers? ».

Dans les profils de sols très profonds, le découplage des processus géochimiques et biologiques est facilité par le fait que chaque processus affecte principalement les horizons du sol à différents niveaux. Les flux de cations dans les horizons profonds du sol sont corrélés à l'altération géochimique des roches; tandis que dans les horizons supérieurs du sol, ils sont influencés par les processus biologiques. Par contre dans les sols peu épais sous les climats tempérés, les activités biologiques influencent l'ensemble du profil du sol jusqu'à la roche-mère. Il devient alors plus difficile d'évaluer les flux de cation issu des activités biologiques et des interactions eau-roche. La distinction des contributions relatives des différents processus d'altération reste difficile en raison de l'absence de méthodes directes de quantification des flux de cations dans les sols. Toutefois, depuis plus d'une décennie, les variations des isotopes stables d'éléments majeurs essentiels tels que le Mg, Ca, Si ou d'éléments mineurs non essentiels pour la nutrition des plantes, tels que le Li et B, sont utilisées pour contraindre les processus affectant leurs cycles biogéochimiques respectifs.

Quelques utilisations récentes de ces nouveaux outils géochimiques seront présentées et discutées avec une focalisation particulière sur les écosystèmes forestiers. Ces travaux ont démontré qu'à l'échelle de la placette forestière, les isotopes stables du Li et du B sont des outils puissants permettant de comprendre la formation des minéraux argileux dans les sols. Pour leur part, les isotopes du Mg (et du Ca) permettent de contraindre les processus (interaction plante-minéraux et recyclage litière) à l'origine de leurs variations dans les écosystèmes. A l'échelle des bassins versants, les variations isotopiques sont principalement contrôlées pour le B et Li par le degré de lessivage des minéraux et la quantité de minéraux argileux formés. Pour le Mg, le cycle

de croissance des végétaux, les échanges cationiques dans les sols et le régime hydrique sont les principales causes de variations de ses isotopes. Dans des bassins versants forestiers monolithologiques, nous montrons qu'il est possible de calculer un taux actuel de dissolution des minéraux ou de déterminer la dynamique d'une source externe à l'écosystème à partir des isotopes du Mg.

## Redéfinition du concept de fertilité minérale des écosystèmes forestiers

Karna HANSSON<sup>1</sup>, Arnaud LEGOUT<sup>1</sup>, Gregory VAN DER HEIJDEN<sup>1</sup>, Jacques RANGER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA Nancy, Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Champenoux

La fertilité des sols peut-être subdivisée en plusieurs composantes, physique, biologique et chimique, étroitement liées. Nous nous focaliserons dans cette communication majoritairement sur la composante chimique. La fertilité chimique des sols demeure un concept flou qu'il est nécessaire de correctement définir pour les sols forestiers dont le comportement est spécifique. Ce sont des sols le plus généralement pauvres chimiquement, parfois très pauvres, colonisés par des plantes pérennes adaptées à ce contexte dans un ensemble de processus décrits sous le vocable de cycles biogéochimiques des éléments. La définition de la fertilité, héritée du contexte agronomique plutôt adaptée aux milieux riches ou enrichis, n'a qu'un intérêt limité pour les sols forestiers. En effet les bilans de fertilité en agronomie conduisent à compenser le déficit du réservoir sol pour une culture donnée. Les normes définies par Bonneau (1995) pour les écosystèmes forestiers s'appuient sur ce concept. Le sol est alors considéré comme un réservoir de nutriments disponibles pour les végétaux, quantifié à un instant donné puis comparé à des normes de nutrition établie par essence.

L'objectif de cette communication est de proposer les bases d'un nouveau concept rendant compte de la spécificité de la fertilité chimique des sols forestiers vis à vis des sols agricoles. Pour cela, nous nous appuyerons sur une base de données existante, constituée de résultats acquis sur 11 sites expérimentaux depuis les années 1970 (analyses de sols et d'humus, biomasse-minéralomasse, étude des cycles biogéochimiques, bilans entrées-sorties).

Les résultats de cette étude mettent en évidence que le concept de fertilité chimique des sols forestiers ne doit pas se limiter au concept agronomique précédemment décrit (réservoir éventuel de nutriments disponibles dans les sols). Il faut en effet y ajouter la circulation d'éléments et le recyclage propre aux cycles biogéochimiques. Ce nouveau concept de fertilité chimique peut être mis en relation avec une typologie de fonctionnement des écosystèmes forestiers basée sur l'importance des différentes composantes des cycles biogéochimiques (BIO et GEO). Lorsque la composante GEOchimique du cycle est prépondérante (apports par altération des minéraux du sol et/ou apports atmosphériques importants), celle-ci apporte suffisamment de nutriments au système sol-plante pour assurer sa croissance, le réservoir sol participant ici grandement à la nutrition du peuplement. A l'inverse, lorsque composante GEOchimique du cycle n'apporte que peu de nutriments au système sol-plante, les composantes BIOlogique (restitutions par les litières, récréation...) et/ou BIOchimique (transferts internes à la plante) des cycles deviennent prépondérantes dans la nutrition du peuplement. Ces deux composantes sont d'autant plus importantes que la réserve en nutriments dans les sols est faible.

La gestion sylvicole doit prendre en considération cette typologie de fonctionnement puisqu'elle agit directement sur le cycle biologique au travers notamment des exportations de biomasse. Dans un contexte actuel de demande accrue en bois énergie, cette typologie illustre parfaitement l'importance d'une gestion raisonnée des rémanents, d'autant plus lorsque la nutrition des peuplements repose majoritairement sur la composante biologique des cycles.

Bonneau, M. (1995). Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Nancy, ENGREF. 368pp.

## MESURES D'ABSORPTION D'EAU ET DE PRODUCTION DE CARBONE SOLUBLE DE MULCHS, SOUS L'EFFET DE PLUIES CONTRASTEES.

Cyril GIRARDIN<sup>1</sup>, Pascal THIEBEAU<sup>2</sup>, François LAFOLIE<sup>3</sup>, Sylvie RECOUS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INRA, Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris, F-78850 Thiverval-Grignon, [Cyril.Girardin@grignon.inra.fr](mailto:Cyril.Girardin@grignon.inra.fr)

<sup>2</sup> INRA, UMR614 INRA-URCA Fractionnement des AgroRessources et Environnement (FARE), 2 Esplanade R. Garros, F-51100 Reims

<sup>3</sup> INRA, UMR1114 Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes, 228 route de l'Aérodrome, F-84000 Avignon.

### Contexte et objectifs

Sous plusieurs latitudes le semis-direct (SD) se substitue au traditionnel labour. Ces techniques culturales simplifiées (TCS) conduisent les résidus végétaux issus de la culture, ou les couverts de plantes adventices à terminer leur décomposition à la surface du sol. Les caractéristiques physiques et chimiques de ces résidus sont très variables en fonction du type de culture, des couverts dont ils sont issus, et des techniques mises en œuvre à la récolte. Ces caractéristiques vont conditionner la dynamique de l'eau, celle du carbone, des éléments nutritifs, qui, pour partie, vont migrer progressivement vers le sol sous-jacent. Le carbone soluble mobilisé lors du lessivage par les pluies est un carbone facilement assimilable par les microorganismes du sol : il doit donc être considéré et évalué, pour renseigner les modèles de décomposition et d'accumulation des matières organiques à la surface du sol.

Les objectifs du travail présenté sont de fournir des mesures, à partir d'expériences en situations contrôlées de laboratoire, pour i) caractériser et modéliser la dynamique d'absorption d'eau de 4 mulchs ; et ii) mesurer la libération de carbone soluble inhérente. Pour se faire, ces mulchs ont été soumis à trois régimes d'intensité de pluies contrastées afin de disposer de mesures pour paramétrer ces modèles.

### Matériel et Méthodes

Les résidus de cultures étudiés ont été sélectionnés parmi les plantes rencontrées en systèmes d'agriculture de conservation dans le Nord de la France, les fermes familiales des Cerados (Bresil) et des hautes terres du centre de Madagascar. Il s'agit de cultures de maïs, de riz, de soja et de pois issu de cultures intermédiaires (stade floraison). Ces mulchs sont soumis à trois régimes de pluies contrastés, correspondant à des épisodes pluvieux rencontrés sur les dispositifs expérimentaux du projet : 4 mm/h correspondent à une journée de pluie de nos régions tempérées (Grignon, 78 ; Fagnières, 51) ; 11 mm/h correspondent à une journée de pluies de Cala (Madagascar) et/ou un épisode pluvieux de Grignon ou Fagnières ; et 24 mm/h correspond à un épisode pluvieux de Cala.

Chaque poste du dispositif expérimental, qui comprend trois répétitions par régime de pluie et type de résidu, est composé (i) d'un simulateur de pluies assurant une répartition homogène de l'eau (3900 gouttes/m<sup>2</sup>), (ii) d'un support d'échantillon de 165 cm<sup>2</sup> muni d'un grillage, sur lequel est placé l'échantillon d'un résidu de culture, à raison de 7.5 t MS/ha, (iii) d'un seau de récupération des eaux de pluies drainées sous chaque échantillon.

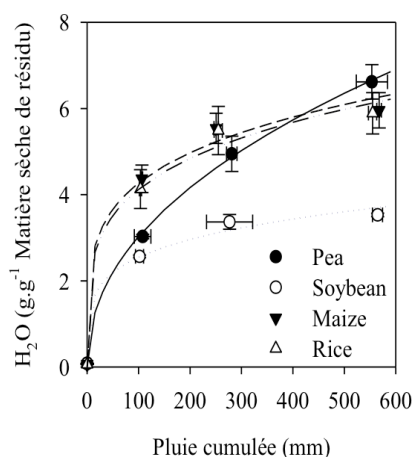
A l'issue de 24h de pluies, les échantillons de plantes sont pesés en frais, puis en sec après passage en étuve ventilée durant 96h à 45°C : par différence, nous déterminons le poids d'eau retenu par gramme de matière sèche de résidu, donc l'absorption. L'eau drainée recueillie dans chaque seau est pesée, pour contrôler l'application du régime de pluie, et un échantillon d'eau est prélevé pour le dosage du C soluble.

## Résultats et discussion

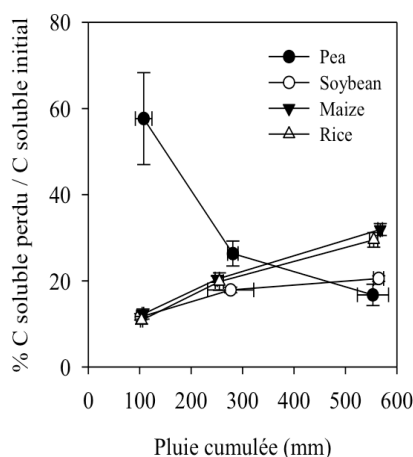
Les dynamiques d'absorption d'eau des résidus montrent que le riz et le maïs ont des comportements similaires, tandis qu'ils diffèrent pour le soja et le pois issu de cultures intermédiaires. La capacité de rétention d'eau peut être très importante puisque pour 3 des 4 cultures étudiées, elle atteint près de 6 fois leur masse sèche initiale (Figure 1). Des ajustements de type non-linéaires permettent de bien ajuster ces dynamiques ( $R^2 > 0,93$ ).

Le carbone soluble extrait lors du lessivage par la pluie est comparé à la fraction de carbone soluble mesurée par la méthode Van-Soest à 20°C. Le départ de carbone soluble témoigne de comportements similaires des résidus de riz et de maïs ; ce qui diffère du soja et du pois (Figure 2). Les résidus du pois ont un comportement nettement différent des autres résidus puisqu'ils peuvent relarguer de fortes quantités de carbone même avec de faibles précipitations, et alors que la masse sèche du résidu n'a retenu que 50% de son poids d'eau maximal.

**Figure 1:** Relation Pluie cumulée - Eau absorbée par un résidu



**Figure 2 :** Relation Pluie cumulée - départ de Carbone soluble



## Conclusion

Les formalismes mathématiques des modèles permettent de bien discriminer les types de résidus selon les régimes de pluies. Ces résultats, originaux, seront intégrés dans les modèles de décomposition des matières organiques (ex. CANTIS) puisqu'il est établi par ces modèles que ces entrées initiales de carbone sont déterminantes dans la dynamique de renouvellement des matières organiques du sol.

## Mots-clés

Mulch, qualité biochimique, pluie, intensité, eau absorbée, carbone soluble, départ

## Remerciements

Ces travaux sont financés par le projet PEPITES (Processus écologiques et Processus d'innovation technique en agriculture de conservation) par l'ANR Systerra (2009-2012).

## **Gestion de la fertilité de sols forestiers acides par recyclage de cendres de bois : présentation du dispositif expérimental ICIF (Itinéraires de Cultures Innovantes en forêt pour la production de biomasse) dans les Ardennes**

**Auteurs : POUSSE Noémie<sup>1</sup>, GIBAUD Gwénaëlle<sup>2</sup>, RICHTER Claudine<sup>3</sup>,  
DELEUZE Christine<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> : ONF, Département R&D, 11 rue de l'île de Corse 54000 Nancy,  
noemie.pousse@onf.fr

<sup>2</sup> : ONF, Département R&D, 3 rue du Petit Château 60200 Compiègne,  
gwenaëlle.gibaud@onf.fr

<sup>3</sup> : ONF, Département R&D, Boulevard de Constance 77300 Fontainebleau,  
claudine.richter@onf.fr

<sup>4</sup> : ONF, Département R&D, 21 rue du Muguet, 39100 Dole,  
christine.deleuze@onf.fr

Le bois énergie est perçu comme un composant stratégique de l'augmentation de la part des énergies renouvelables. Cette utilisation, en cours d'accroissement soutenu en France, interroge sur les capacités d'approvisionnement à court et moyen terme. Pour la forêt, les études prospectives sur la ressource disponible intègrent ainsi le besoin de prélèvements accrus. Notamment, elles identifient de nouveaux gisements potentiels de biomasse pour l'énergie comme des tiges entières de premières éclaircies ou des récoltes complètes de houppiers, ce qui pose la question des impacts de telles exploitations sur la fertilité des sols et la biodiversité (rapport RESOBIO, 2014) dans le cadre de la gestion multifonctionnelle.

Une approche alternative à envisager pourrait reposer sur le développement en forêt d'itinéraires sylvicoles spécialisés pour la production de biomasse à usage énergétique. Si les cultures dédiées (type taillis à courte rotation de peuplier ou d'eucalyptus) ont montré leur potentiel, essentiellement sur des sols agricoles plutôt fertiles (de Morogues et al, 2011), la transposition à la forêt nécessite des recherches spécifiques pour évaluer leur faisabilité. Contrairement à la plupart des sols agricoles, les sols forestiers sont plus acides et généralement de moindre fertilité (GIS SOL, 2011), ce qui pose des questions spécifiques en termes i) de choix des espèces selon leurs potentialités, ii) d'adaptation des itinéraires et de leur évaluation technique et économique, ainsi que iii) de leurs impacts sur les écosystèmes. La mise au point de tels itinéraires nécessite en particulier de s'intéresser aux modalités de préparation du terrain (travail du sol, amendement -fertilisation) nécessaires à la réussite des plantations et à l'optimisation des rendements.

Dans les Ardennes, en reboisement d'une zone dévastée par une tempête en 2010, le département R&D de l'ONF a implanté un site expérimental de 11 ha pour comparer les effets de diverses modalités de travail et de gestion de la fertilité du sol sur la productivité de différents itinéraires dédiés ou semi-dédiés biomasse. Ce site a été mis en place dans le cadre plus général du projet ICIF « Itinéraires de Cultures Innovantes en Forêt pour la production de biomasse sur sols acides ». Dans l'idée d'une économie "circulaire" favorisant



le recyclage des éléments minéraux, le caractère novateur du dispositif repose sur l'utilisation de cendres de bois "propres" (non traités) issues de chaufferies bois, comme amendement basique.

Au printemps 2013, au moment du démarrage des plants, une campagne initiale de caractérisation des sols a été réalisée sur les 48 placettes expérimentales du dispositif (2300m<sup>2</sup> chacune), afin de répondre à deux objectifs. Le premier vise à suivre l'évolution des teneur et stocks en éléments échangeables, phosphore, carbone organique et azote pour deux itinéraires (Saule 2000 tiges/ha et Douglas 1600 tiges/ha) et en fonction du type d'apport (amendement calco-magnésien, cendres ou aucun apport) et du type de travail (sous-solage ou absence de préparation). Le second objectif vise à caractériser la fertilité physico-chimique initiale des différentes placettes afin de pouvoir expliquer de potentielles différences de productivité.

Ce dispositif, constitue un atelier important pour aborder les questions cruciales de gestion de la fertilité des sols forestiers (restauration de sols appauvris et compensation des exportations, intérêt et conditions du recyclage des cendres de bois en forêt) dans le cadre d'un besoin de création d'une ressource spécialisée et productive pour répondre à une demande accrue en biomasse.



**Photo du dispositif et dessin du contour des 48 placettes (O.Monnier) -août 2013 (crédit photo : C. Papageorgiou)**

Bibliographie : Rapport final -Projet RESOBIO "Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité" -ADEME, ECOFOR, MAAF -mars 2014 -248 p.  
DE MOROGUES (F.), NGUYEN THE (N.), BERTHELOT(A.), MELUN (F.) -Réflexions sur la rentabilité des taillis à courte et à très courte rotation d'Eucalyptus et de Peuplier -Revue Forestière Française, numéro 6, 2011, 705-721. GIS SOL – L'état des sols de France. Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols, 2011, 188 p.

## **Effet à court terme de la plantation de TTCR de saules sur l'évolution des matières organiques de sols alluviaux calcaires.**

**STAUFFER Marie<sup>12</sup>, LEYVAL Corinne<sup>1</sup>, BRUN Jean-Jacques<sup>3</sup>, BERTHELIN Jacques<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Université de Lorraine, LIEC-CNRS, Faculté des Sciences et Technologie, BP 70239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France, marie.stauffer@univ-lorraine.fr, corinne.leyval@univ-lorraine.fr, jacques.berthelin@univ-lorraine.fr

<sup>2</sup>KINOMÉ, 8 Rue de Valmy, 93000 Montreuil sous Bois, France

<sup>3</sup>UR EMGR, IRSTEA, BP 76, 38402 Saint Martin D'Hères Cedex, France, Jean-Jacques.Brun@irstea.fr

### **Effet à court terme de la plantation de TTCR de saules sur l'évolution des matières organiques de sols alluviaux calcaires.**

Les taillis à très courte rotation (TTCR) de saules sont des cultures de biomasse à but énergétique. Les récoltes successives, tous les trois ans pendant vingt ans, sont susceptibles d'exporter d'importantes quantités de nutriments du sol et d'affecter leur fonctionnement. Malgré les nombreuses études concernant le stockage de carbone sous ces cultures très peu se sont intéressées à la qualité des matières organiques du sol (MOS) soumis à cet usage. Notre étude visait à déterminer l'impact de la conversion de terre arable (jachère ou culture de maïs) en TTCR sur l'évolution quantitative et qualitative des matières organiques du sol par diverses approches : mesure de minéralisation potentielle de C et N, fractionnement et caractérisation chimique et pyrolyse Rock-Eval. Ces méthodes conduisant aussi à évaluer les pools labiles et stables des MOS.

Les sols de quatre parcelles de TTCR, de quatre bandes enherbées, d'un agrosystème conventionnel et d'une forêt alluviale ont été prélevés en novembre 2010 sur une vingtaine de cm de profondeur. Deux des parcelles de TTCR avaient été plantées sur des cultures de maïs et les deux autres sur des jachères. Le pool facilement biodégradable a été évalué à l'aide de dispositifs d'incubation, avec un suivi de la minéralisation potentielle du carbone par la production de CO<sub>2</sub>. Le pool considéré comme labile, ainsi que différentes formes chimiques (polysaccharides, sucres réducteurs et composés phénoliques) ont été extraits à l'eau chaude. Le pool stable correspond, dans cette étude, à la fraction récalcitrante à une hydrolyse acide. Une caractérisation des MO a aussi été effectuée par pyrolyse Rock-Eval qui permet de définir les pools labiles et stables selon la stabilité thermique de la MO.

Les TTCR présentaient une biodégradabilité des MO plus importante que l'agrosystème ou que les bandes enherbées, pouvant s'expliquer par de fortes proportions de carbone organique labile et un C/N qui augmente mais reste relativement faible par rapport aux autres usages du sol au cours des deux premiers cycles de trois ans. L'indice d'hydrogène, considéré comme indicateur de l'évolution de la nature des MO diminue sous TTCR de saules. Les stocks de carbone de l'horizon de surface sont contrôlés par le pourcentage d'argile des sols étudiés et ne sont pas influencés par le changement d'usage après deux rotations de trois ans en TTCR. L'estimation du pool labile, facilement biodégradable, est

cohérente entre les trois méthodes utilisées. Celui-ci est corrélé à l'activité biologique et représente un bon indicateur intégratif de la qualité des sols.

**Mots clés :** Pyrolyse Rock Eval, Fractionnement chimique de la matière organique des sols, TTCR, qualité du sol.

## **Les archives pédologiques : nouvelles approches en spectroscopie proche-infrarouge et sur les biomarqueurs moléculaires lipidiques. Les apports du programme GESSOL-APOGEE**

**SCHWARTZ Dominique** <sup>1</sup>, **ERTLEN Damien** <sup>1</sup>, **FROEHLICHER Lucie** <sup>1</sup>,  
**VYSLOUZILOVA Barbora** <sup>1,3</sup>, **BASTIEN Claire** <sup>2</sup>, **SCHAEFFER Philippe** <sup>2</sup>,  
**TRENDEL Jean-Michel** <sup>2</sup>, **LIAUD Céline** <sup>2</sup>, **MOTSCH Estelle** <sup>2</sup>, **ADAM Pierre** <sup>2</sup>,  
**SEFRNA Ludek** <sup>3</sup>, **GIERGA Merle** <sup>4</sup>, **BERNASCONI Stefano** <sup>4</sup>

1 : Faculté de Géographie et d'Aménagement, UMR 7362, Laboratoire Image Ville Environnement, Dynamique des paysages, UDS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

2 : Laboratoire de Biogéochimie Moléculaire, UMR 7177 CNRS, Université de Strasbourg, ECPM, 25 rue Becquerel F-67200 Strasbourg

3 : Department of Physical Geography and Geoecology, Charles University in Prague, Faculty of Science, Albertov 6, 128 42 Praha 2, Czech Republic

4 : Geologisches Institut, ETH Zürich, Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Suisse

[dominique.schwartz@live-cnrs.unistra.fr](mailto:dominique.schwartz@live-cnrs.unistra.fr)

Le programme GESSOL-APOGEE (**A**rchives **P**édologiques, un **O**util de **G**estion des **E**cosystèmes) avait pour objectif de développer de nouveaux outils permettant d'utiliser les constituants du sol comme des archives des environnements du passé pour reconstituer la trajectoire temporelle des écosystèmes qui s'y développent.

Les principaux outils développés dans ce cadre sont la spectroscopie proche infrarouge qualitative (NIRS qualitative) et l'utilisation de biomarqueurs moléculaires lipidiques.

La NIRS qualitative permet d'identifier le type de végétation (prairie, forêt, culture) qui a fourni les matières organiques du sol. Les spectres d'échantillons inconnus sont comparés à ceux obtenus sur des échantillons de référence, prélevés en surface sur des écosystèmes stables. Dans le cadre d'APOGEE nous avons testé la méthode sur des profils de sol dont l'histoire paléoenvironnementale est bien connue.

La fraction lipidique totale de la matière organique a été extraite sur les mêmes sols, à différentes profondeurs, ainsi qu'un certain nombre de molécules individuelles. Des fractions ou molécules caractéristiques de certains environnements végétaux ont pu être identifiées. Globalement, les résultats concordent avec ceux de la NIRS. L'âge moyen des fractions et molécules individuelles extraites ont pu être mesurées grâce à la technique AMS MICADAS (ETH Zürich) qui permet de dater des quantités de carbone aussi faible que quelques microgrammes. Les résultats sont très contrastés, mais il apparaît que certaines fractions et molécules peuvent préservées au moins plusieurs millénaires dans les horizons profonds des sols.

Au cours de la communication, nous présenterons successivement les méthodes utilisées, leurs limites actuelles et les principaux résultats.

## **Datation des biomarqueurs terrestres préservés dans les sédiments lacustres : indicateur historique de la dynamique des sols**

Marlène Lavrieux (1)\*, Nathalie Dubois (1), Carsten Schubert (2), Thomas Hofstetter (1), Timothy Eglinton (3)

1. Eawag (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des Ecoles Polytechniques Fédérales), Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Suisse. \* : [marlene.lavrieux@eawag.ch](mailto:marlene.lavrieux@eawag.ch)
2. Eawag (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des Ecoles Polytechniques Fédérales), Seestrasse 79, CH-6047 Kastanienbaum, Suisse.
3. ETH (Ecole Polytechnique Fédérale), Geologisches Institut, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zürich, Suisse.

Malgré l'importance des sols pour les sociétés humaines et les écosystèmes, l'étendue et la vitesse de leur dégradation restent mal connues. Les activités humaines, notamment au travers de l'usage des sols, ont accéléré les processus d'érosion naturels, accroissant le transport sédimentaire en rivière et bouleversant le cycle du carbone terrestre (e.g. Le Bissonais et al., 2001 ; Gobet et al., 2003).

Par ailleurs, les sédiments lacustres sont de très bonnes archives des conditions environnantes, y compris des perturbations d'origine anthropique. Ces enregistrements sont déjà utilisés pour faire le lien entre changements d'usage des sols et sédimentation lacustre (e.g. Dearing, 2006; Jacob et al., 2008; Ariztegui et al., 2010), mais l'impact sur le sol en lui-même reste à ce jour peu documenté.

Pourtant, afin de permettre un usage durable des sols, il est indispensable de comprendre quelle était leur dynamique avant le début des activités agricoles, et l'évolution de cette dynamique suite aux développements des pratiques agraires. L'âge des biomarqueurs de plantes terrestres préservés dans les sédiments lacustres pourrait aider à estimer les impacts de l'usage des sols sur le temps de résidence du carbone organique dans ces sols.

Sur cette base, cette communication propose un aperçu des applications des datations radiocarbone des biomarqueurs terrestres, et plus spécifiquement de leur potentiel en tant qu'indicateur historique de la dynamique des sols.

### **Bibliographie**

- Ariztegui, D., Gilli, A., Anselmetti, F. S., Goni, R. A., Belardi, J. B., Espinosa, S., 2010. Lake-level changes in central Patagonia (Argentina): crossing environmental thresholds for Lateglacial and Holocene human occupation. *Journal of Quaternary Science* 25, 1092–1099.
- Dearing, J.A., 2006. Climate-human-environment interactions: resolving our past. *Climate of the Past* 2, 187–203.
- Gobet, E., Tinner, W., Hochuli, P.A., van Leeuwen, J.F.N., Ammann, B. 2003. Middle to late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps): the role of man and fire. *Vegetation History and Archaeobotany* 12, 143–163.
- Jacob, J., Disnar, J.R., Arnaud, F., Chapron, E., Debret, M., Lallier-Vergès, E., Desmet, M., Revel-Rolland, M., 2008. Millet cultivation history in the French Alps as evidenced by a sedimentary molecule. *Journal of Archaeological Science* 35, 814–820.
- Le Bissonais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D., 2001. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena* 46, 207–220.

## **Evolution Tardiglaciaire et Holocène des sols d'un bassin versant de moyenne montagne, le lac de La Thuile (Massif des Bauges) : impacts climatiques et anthropiques**

**BAJARD Manon<sup>1</sup>, SABATIER Pierre<sup>1</sup>, POULENARD Jérôme<sup>1</sup>, DAVID Fernand<sup>2</sup>, ARNAUD Fabien<sup>1</sup>, DEVELLE Anne-Lise<sup>1</sup>, LELOUP-BESSON Anouk<sup>1</sup>, REYSS Jean-Louis<sup>3</sup>, FANGET Bernard<sup>1</sup>, MALET Emmanuel<sup>1</sup>, ARNAUD Daniel<sup>4</sup>, AUGUSTIN Laurent<sup>4</sup>, CROUZET Christian<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> : EDYTEM, Université de Savoie, CNRS, bat. pôle montagne, 73376 Le Bourget du Lac, manon.bajard@gmail.com, pierre.sabatier@univ-savoie.fr

<sup>2</sup> : CEREGE, Aix-Marseille Univ, CNRS, IRD, Collège de France, Europôle de l'Arbois, BP 80 13545 Aix en Provence.

<sup>3</sup> : LSCE, UVSQ, CNRS, CEA, avenue de la Terrasse, 91110 Gif-sur-Yvette.

<sup>4</sup> : Division technique de l'INSU, Centre de Carottage et de Forage National, CNRS, 83507 La Seyne-sur-mer

<sup>5</sup> : ISTerre, Université de Savoie, CNRS, bat. Belledonne, 73376 Le Bourget-du-Lac.

### **1. Introduction**

Depuis 100 ans, les changements dans le paysage du lac de La Thuile sont visibles à travers d'anciennes cartes postales. Ces changements d'occupation des sols affectent les trajectoires d'évolution de la couverture pédologique. Les causes, anthropiques et/ou climatiques, et les effets de ces modifications ont besoin d'être connus pour envisager les trajectoires d'évolution à venir des écosystèmes.

Le lac de La Thuile dans le massif des Bauges (875 m a.s.l.) livre une séquence sédimentaire de près de 18 m couvrant la période du dernier maximum glaciaire à l'actuel. Ce lac au bassin versant carbonaté est, de par son altitude, un des premiers à être créé lors du retrait glaciaire et fournit ainsi un enregistrement continu depuis cette période documentant les changements climatiques et environnementaux à travers le Tardiglaciaire et l'Holocène. Surimposée à ces variations, de par l'altitude de son bassin versant (étage montagnard) l'influence des pratiques humaines en moyenne montagne joue un rôle fondamental sur la dynamique pédologique et sédimentaire au cours des derniers millénaires. L'analyse multiproxie de cette séquence permet de reconstituer l'évolution paléoenvironnementale de cet écosystème montagnard, pour appréhender la résilience des sols aux perturbations climatiques et anthropiques.

### **2. Matériel et méthodes**

La séquence sédimentaire a été décrite et datée : la chronologie est basée sur 15 dates <sup>14</sup>C, des radioéléments de courtes périodes (<sup>210</sup>Pb/<sup>137</sup>Cs) et les déclinaisons du champ magnétique (5 dates pour les derniers 1500 ans) (Crouzet et al., 2013, soumis).

L'abondance des éléments majeurs et traces, a été mesurée en continue et à haute résolution (5 mm) par fluorescence de rayon X sur un Core Scanner. Les rapports Si/Ti et Ca/Ti permettent d'identifier la production de silice et de calcite biogénique. Le rapport K/Ti permet d'apprécier le degré d'évolution des sols. Le traitement statistique par analyse en composante principale nous permet d'établir des corrélations entre les éléments et entre les différents faciès de sédiment.

La distribution de la taille des particules a été déterminée avec un granulomètre laser tous les 2 cm. La teneur en matière organique est estimée par la perte au feu à 550°C réalisées en continu sur toute la séquence avec la même résolution.

L'analyse des pollens du sédiment tous les 10 cm nous renseigne sur l'évolution de la végétation du bassin versant, la dynamique forestière, la nature des sols et l'emprise humaine avec l'apparition de taxons anthropiques (*Urtica*, *Cerealia*, *Humulus*, *Rumex*).

Les sols actuels du bassin versant ont été caractérisés sur des profils et sondés à la tarière.

### 3. Résultats

Cinq types de sol ont été identifiés sur le bassin versant du lac de La Thuile : des Organosols, des Colluviosols, des Calcosols, des Calcisols et des Brunisols.

L'enregistrement sédimentaire couvre les 17 000 dernières années. La comparaison des observations lithostratigraphiques, des analyses des constituants minéraux et organiques et la caractérisation des sols actuels nous permet d'identifier cinq grandes phases de sédimentation et d'évolution de la couverture pédologique :

**17 - 14,6 ka cal. BP** : pendant le Tardiglaciaire, le taux de sédimentation et l'érosion par lessivage de matériel fin (farine glaciaire) sont importants. L'érosion n'est pas ou peu limitée par le couvert végétal. Les sols sont peu développés, de type Lithosols et Rendisols.

**14,6 - 12 ka cal. BP** : la diminution du rapport K/Ti et l'augmentation de la fraction organique du sédiment marquent les périodes plus chaudes de l'Allerod et du Bolling. Ces fluctuations correspondent à une augmentation de l'abondance du pin, du bouleau et du genévrier.

**12 - 5 ka cal. BP** : la forte diminution du taux de sédimentation s'explique par la mise en place d'une forêt caducifoliée. Le sédiment est riche en matière organique (20 à 70 %), avec des fragments de macrorestes de végétaux terrestres bien conservés. Dans la première moitié de l'Holocène la sédimentation est très ralentie par cet écosystème stabilisé : les sols sont bien développés. La décarbonatation pourrait conduire à la formation de Brunisols et d'Alocrisols selon les versants.

**5 - 2,5 ka cal. BP** : à partir du Néoglaciaire, la taille des particules minérales et le taux de sédimentation sont plus importants, le détritisme et l'érosion des sols augmentent du fait de l'action du climat puis de l'implantation humaine sur le bassin versant.

**2,5 - actuel** : les taxons d'anthropisation sont identifiés par les pollens : les versants sont déboisés. La déstabilisation complète des sols avec l'intensification des pratiques agricoles sur le bassin versant permet la mise en place de Colluviosols. Deux paliers se distinguent : de 2500 ans cal. BP à 1500 ans cal. BP (période Antique) et de 1500 ans cal. BP à 600 cal. BP (période médiévale).

### 4. Conclusion

L'analyse multiproxies à haute résolution de la totalité de cette séquence associant des analyses sédimentologiques, géochimiques, palynologiques et l'étude des sols du bassin versant actuel permettent d'étudier les relations sols/sédiments lacustres et de déterminer les interactions homme/environnement/climat. Ainsi nous avons pu mettre en évidence cinq dynamiques sédimentaires successives très contrastées auxquelles s'associe l'évolution des sols, avec par ordre chronologique i) la stabilisation du bassin versant suite au retrait glaciaire ; ii) l'impact des variations climatiques du Tardiglaciaire sur l'érosion ; iii) la première partie de l'Holocène avec la mise en place d'un système pédo-sédimentaire stabilisé ; iv) la perturbation grandissante de ce système engendrée par le climat puis par les activités humaines sur le bassin versant avec le début de l'Anthropocène et enfin v) la déstabilisation complète des sols par les pratiques agro-pastorales depuis 1500 ans.

Ce travail montre l'influence majeure des paramètres climatiques et environnementaux sur l'enregistrement des archives sédimentaires en moyenne montagne. Il démontre également, dans le cas de ce lac de l'étage montagnard, l'accentuation des phénomènes érosifs qui caractérise la fin de l'âge du fer, l'Antiquité, avec la période de rhexistase des sols engendrée, et qui se poursuit ici jusqu'à la déprise rurale de la deuxième moitié du XXème siècle.

**Mots-clés : Pédogénèse - sédiment - pédosignatures - Anthropocène - étage montagnard**

#### BIBLIOGRAPHIE :

Crouzet C., Wilhelm B., Demory F., Arnaud F., Sabatier P., Thouveny N. L'enregistrement des variations séculaires du champ magnétique terrestre par les sédiments des lacs d'altitudes dans les alpes françaises : un outil supplémentaire de datation ?, 14ème congrès français de sédimentologie, Paris : France (2013) - <http://hal-sde.archives-ouvertes.fr/halsde-00933747>



# Exportation du carbone des sols en environnement karstique préalpin durant les derniers millénaires à partir du contenu organique des spéléothèmes.

Quiers Marine, Yves Perrette, Jérôme Poulenard, Bernard Fanget, Emilie Chalmin

La matière organique des spéléothèmes est un outil d'estimation des flux de carbone provenant des sols. Ces flux sont impactés par les variations climatiques ou les modifications de gestion des environnements, qui favorisent ou réduisent l'export de carbone. Comprendre leur évolution passée selon des paramètres climatiques ou anthropiques, est donc un moyen d'évaluer la sensibilité des flux de carbone à ces paramètres. Les spéléothèmes sont des archives dont la capacité de reconstruction paléoclimatique et paléoenvironnementale est aujourd'hui reconnue. Il est également démontré que la majeure partie du carbone qu'elles contiennent provient du sol, à la fois dans le cas du carbone des carbonates, comme dans le cas de la matière organique piégée lors de la cristallisation. Les enregistrements des variations de carbone dans les spéléothèmes fournissent donc un enregistrement de la variation du carbone en provenance des sols. Par ailleurs, les différents proxies mesurables dans les spéléothèmes, peuvent fournir des informations complémentaires sur le climat ou les actions anthropiques impactant les flux de carbone. Cette étude propose donc de retracer ces flux durant l'Holocène, à partir de l'étude des spéléothèmes.

Pour évaluer le flux de carbone des sols à partir des spéléothèmes, le proxy choisi dans cette étude est la fluorescence de la matière organique. En effet, cette technique présente l'avantage d'être non destructive et de permettre des mesures à haute résolution (jusqu'à 10 $\mu$ m). Cependant, elle ne permet que des mesures semi-quantitatives. La méthode mise en oeuvre dans cette étude se base donc sur une calibration du signal de fluorescence des spéléothèmes afin d'obtenir des variations de concentration en carbone organique au cours du temps. Elle repose sur l'utilisation de la relation entre le carbone organique total (COT) et la fluorescence. Celle-ci est considérée comme linéaire lorsque l'absorbance ne dépasse pas 0.02. Cependant, une mesure directe de la concentration en carbone organique sur les spéléothèmes n'étant pas envisageable, cette calibration a été réalisée à l'aide de la relation COT-fluorescence caractérisant les sols.

4 stalagmites provenant de la même salle du réseau Garde-Cavale dans le massif des Bauges ont été étudiées. Elles représentent un enregistrement couvrant toute la période Holocène. La fluorescence de la matière organique a été mesurée sur ces 4 échantillons. Les concentrations en carbone organique dans la stalagmite ont été estimées à partir de ces résultats. Cette technique offre donc la possibilité de mesurer les variations du carbone organique au cours du temps. Les mesures réalisées sur les spéléothèmes de cette étude correspondent aux variations des flux de carbone en provenance des sols durant la période Holocène. Ces résultats, comparés à d'autres proxies, permettent de mettre en évidence des périodes climatiques favorables aux exports de carbone ainsi que les impacts anthropiques ayant également favorisé ce transfert.



## **Approche pédoanthracologique de l'histoire des sols forestiers et de leurs exploitations anthropiques passées**

**FEISS Thomas<sup>1</sup>, HOREN Hélène<sup>1</sup>, BRASSEUR Boris<sup>1</sup>, LENOIR Jonathan<sup>1</sup>, DECOCQ Guillaume<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Unité de recherche Ecologie et Dynamique des Systèmes Anthropisés FRE3498 (Université de Picardie Jules Verne, 1 rue des Louvels 80037 AMIENS, France, thomas.feiss@yahoo.fr).

*Mots clefs : archives des sols, écologie historique, effort d'échantillonnage, processus pédologique, corrélation spatiale.*

En écologie historique des forêts, une des préoccupations majeures est la reconstitution des changements en composition des peuplements sylvicoles au cours du temps. Les espèces ligneuses jouent un rôle structurant sur l'écosystème et influencent directement le fonctionnement de cet ensemble naturel. L'approche pédoanthracologique permet de retracer cette évolution forestière au cours des siècles passés. Le sol, en effet, contient des traces des différents incendies qui ont sévi dans ces milieux. Cependant, de nombreuses interrogations demeurent quand à la fiabilité de la reconstitution des paysages forestiers d'après les profils anthracologiques.

Les objectifs de la présente contribution sont : (1) d'améliorer la compréhension entre processus pédologique et anthracologique ; (2) d'estimer l'effort d'échantillonnage nécessaire à l'obtention d'une image pédoanthracologique reflétant la richesse et la composition spécifique d'un peuplement forestier ancien ; et (3) de déterminer s'il existe une structure spatiale de la répartition de l'anthracomasse et si oui à partir de quelle distance cette structure disparaît. En somme, il s'agit d'une approche originale et innovante pour améliorer la qualité des reconstitutions paléoenvironnementales associées aux archives anthracologiques des sols forestiers.

Nous avons pour cela échantillonné 2 massifs forestiers anciens du nord de la France (Compiègne, 60 et Saint Gobain, 02) selon 4 types de sols (Luvisol, Rendosol, Rendisol et Podzosol). Des descriptions morphologiques ainsi que des prélèvements ont été effectués verticalement, à l'aide d'une fosse pédologique (20 échantillons de 1L par niveaux pédologiques) et horizontalement, à l'aide d'une tarière (30 échantillons de 1L, systématiquement placés sur 1000m<sup>2</sup> autour de la fosse). Chaque échantillon d'1 litre a été traité indépendamment : tamisage humide, extraction des charbons puis identification au microscope à lumière réfléchie.

Les données d'anthracomasses ont été utilisées pour caractériser la dispersion verticale et horizontale ainsi que pour montrer l'extrême variabilité au sein des quantités de charbons entre prélèvements d'un même niveau pédologique (*Figure 1*).

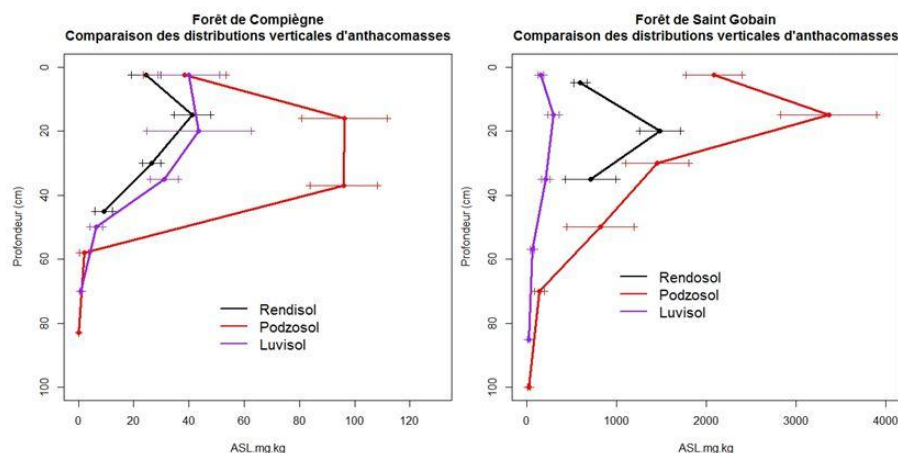


Figure 1 : Répartition des masses de charbons selon la forêt, le type pédologique et la profondeur de sol.

Nous avons également mesuré l'autocorrélation spatiale de la variable anthracomasse, à l'aide de l'indice I de Moran. Cette méthode permet de déterminer la distance à partir de laquelle un signal d'autocorrélation spatiale positive (structure spatiale) disparaît s'il existe bien une structure spatiale (Figure 2).

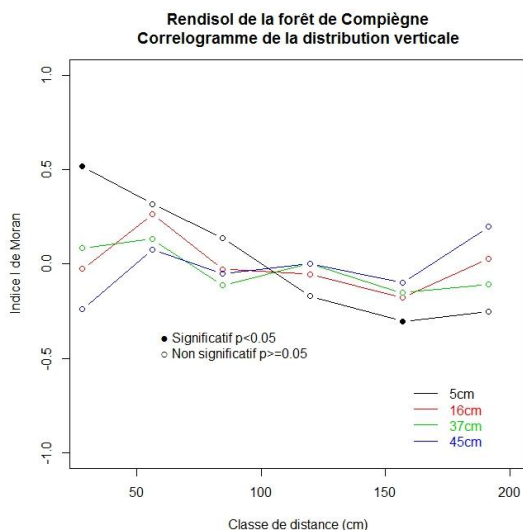


Figure 2 : Correlogramme pour les 4 niveaux de prélèvements de la fosse pédologique du rendisol de Compiègne.

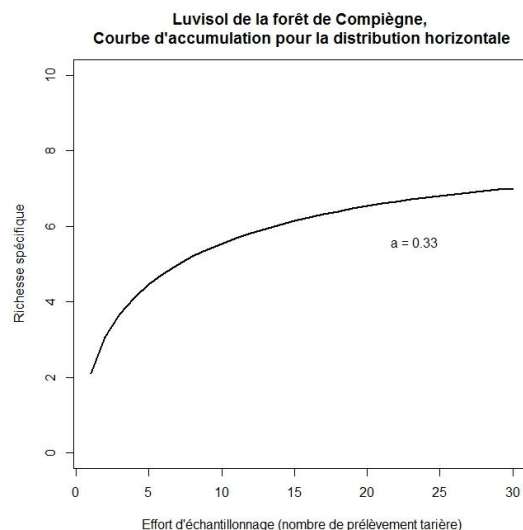


Figure 3 : Courbe d'accumulation pour la modalité "distribution horizontale" du luvisol de Compiègne

Les matrices d'abondances espèces-échantillons ont ensuite servi, dans un premier temps, à étudier la répartition verticale et horizontale des taxons. Dans un second temps, elles ont servi à construire des courbes d'accumulation et de raréfaction afin de déterminer l'effort minimal d'échantillonnage (Figure 3), tandis que les valeurs de diversité ont permis de comparer les différents types de sols pour la forêt de Compiègne.

Pour conclure, nous discuterons de la nécessaire prise en compte de cette répartition verticale et horizontale des charbons conservés dans les niveaux pédologiques et des espèces associées, dans la reconstitution de l'évolution des paysages et des sols forestiers au cours des siècles.

## **Quelle relation entre la stabilité du C des sols et son âge? Apport d'une chronoséquence de sol en jachère nue.**

**LEFEVRE Romain<sup>1</sup>, BARRE Pierre<sup>2</sup>, VASILYEVA Nadezda<sup>1\*</sup>, TRUMBORE Susan<sup>3</sup>, SCHRUMPF Marion<sup>3</sup>, MOYANO Fernando E.<sup>1\*</sup>, VAN OORT Folkert<sup>4</sup>, et CHENU Claire<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> iEES Paris (UPMC, CNRS, AgroParisTech, Grignon, France)

<sup>2</sup> Laboratoire de Géologie (UMR 8538 CNRS-ENS, Ecole normale supérieure, Paris, France)

<sup>3</sup> Max Planck Institute for Biogeochemistry (Department Processes, Hans-Knöll-Straße 10, 07745 Jena, Allemagne)

<sup>4</sup> Pessac, INRA, Versailles, France

\* adresses respectives actuelles Université de Moscou, Russie et Université d'Heidelberg, Allemagne

La compréhension de la dynamique des matières organiques des sols (MOS) dans le contexte du changement climatique demeure un défi majeur pour la communauté scientifique. Il a été montré que les MOS ne sont pas uniformément décomposables et que les modèles de dynamique du carbone devraient les fragmenter en différents compartiments cinétiques. Cependant, il a été montré que les MOS vieilles ne sont pas forcément composées de substrats thermodynamiquement stables (Kleber et al. 2010). Ces MOS pourraient alors être stabilisées par occlusion dans des agrégats et par association avec les minéraux des fractions fines du sol (Schrumph et al. 2013). Il n'est donc toujours pas établi s'il existe un lien entre l'âge des matières organiques et particulièrement du carbone (COS) et leur dégradabilité par les microorganismes du sol.

Les essais de jachère nue de longue durée constituent un outil unique pour l'étude de COS stabilisé sur des décennies voire des siècles (Barré et al. 2010). De plus, une étude récente a montré que le COS contenu dans des échantillons prélevés après 25 à 79 ans de jachère nue était moins décomposable (Lefevre et al. 2014). Notre objectif est d'étudier les variations de teneur en <sup>14</sup>C du COS contenus dans des échantillons prélevés après des durées variables en jachère nue. Nous allons (i) tester l'hypothèse selon laquelle le COS stabilisé est plus vieux que le COS non stabilisé, (ii) comparer l'âge du COS total avec celui contenu dans la fraction de la taille des argiles.

Pour ce faire, nous avons utilisé des échantillons provenant de l'essai de jachère nue de longue durée situé à Versailles. Nous avons sélectionné des échantillons d'archive prélevés après 0, 10, 20, 33, 43, 63 et 79 ans de jachère nue. Sur ces échantillons, nous avons réalisé des mesures de teneur en <sup>14</sup>C du COS du bulk et de la fraction de la taille des argiles (< 2 µm) grâce à un accélérateur de particules couplé à un spectromètre de masse (AMS).

Nos premiers résultats montrent que l'âge moyen du COS augmente avec la durée de la jachère nue. Nous faisons l'hypothèse que des mécanismes comme (i) l'adsorption ou l'occlusion préférentielle de vieux matériaux natifs ou (ii) le dépôt de charbons géologiques pendant la durée de l'essai peuvent expliquer l'évolution de l'âge moyen que nous observons.

L'analyse en cours de la fraction de la taille des argiles dépourvue de charbon devrait fournir des éléments de réflexion supplémentaires et permettre de proposer des mécanismes de stabilisation à long terme du COS.

**Mots-clés:** Carbone Organique du Sol, COS, Mécanismes de Stabilisation,  $^{14}\text{C}$ , Essai de Jachère Nue de Longue Durée.

**Références:**

- Barré, P., Eglin, T., Christensen, B. T., Ciais, P., Houot, S., Kätterer, T., van Oort, F., Peylin, P., Poulton, P.R., Romanenkov, V., and Chenu, C. (2010) Quantifying and isolating stable soil organic carbon using long-term bare fallow experiments. *Biogeosciences*, 7, 3839-3850.
- Kleber, M., Nico, P. S., Plante, A., Filley, T., Kramer, M., Swanston, C. and Sollins, P. (2010) Old and stable soil organic matter is not necessarily chemically recalcitrant: implications for modeling concepts and temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 17, (2), 1097-1107.
- Lefevre, R., Barré, P., Moyano, F. E., Christensen, B. T., Bardoux, G., Eglin, T., Girardin, C., Houot, S., Kätterer, T., van Oort, F., and Chenu, C. (2014) Higher temperature sensitivity for stable than for labile soil organic carbon- Evidence from incubations of long-term bare fallow soils. *Global Change Biology*, 20, 633-640.
- Schrumpf, M., Kaiser, K., Guggenberger, G, Persson, T., Kögel-Knabner, I., and Schulze E-D. (2013) Storage and stability of organic carbon in soils as related to depth, occlusion within aggregates, and attachment to minerals. *Biogeosciences*. 10, 1675-1691.

## Les sols de charbonnières comme modèle d'étude d'un amendement de biochar à l'échelle des siècles

NAISSE Christophe<sup>1</sup>, NGO Thi-Phuong<sup>1</sup>, DAVASSE Bernard<sup>2</sup>, CHABBI Abad<sup>3</sup>, RUMPEL Cornelia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IEES Paris (UPMC - CNRS), 78850 Grignon, [christophe.naisse@grignon.inra.fr](mailto:christophe.naisse@grignon.inra.fr)

<sup>2</sup>CEPAGE-ENSAP de Bordeaux, 33400 Talence

<sup>3</sup>INRA-URP3F, 86600 Lusignan

Les procédés modernes de pyrolyse, telle que la gazéification, permettent à partir de biomasses faiblement valorisables, de produire massivement des énergies renouvelables, ainsi que des résidus charbonneux (le biochar). L'amendement de biochar est une solution fortement envisagée à l'échelle globale dans le but d'augmenter la fertilité des sols, tout en séquestrant durablement d'importantes quantités de carbone dans les sols à l'échelle du siècle (Naisse et al., 2014). Cependant, si les effets induits par un apport de biochar au bout de quelques années sur les propriétés du sol commencent à être bien compris, peu d'éléments permettent d'anticiper l'évolution à l'échelle de plusieurs siècles de sols amendés par des biochars.

Nous proposons dans ce travail d'étudier les propriétés d'un sol (Alocrisol), ayant évolué depuis quatre siècles avec d'importantes quantités de charbons, provenant de l'activité passée de fabrication de charbons de bois (sol de charbonnière). Cette étude a eu pour objectif d'évaluer l'impact après plusieurs siècles d'un amendement de charbons sur les caractéristiques physicochimiques et le fonctionnement biologique du sol, vis-à-vis de la dégradation de nouveaux apports carbonés. Pour cela nous avons incubé des biochars et des résidus de plante enrichis en <sup>13</sup>C dans le sol de charbonnière, ainsi que dans le sol adjacent.

Nos résultats confirment qu'un apport de charbon à long terme n'a conduit pas de modification du pH du sol, mais mettent en évidence l'augmentation importante de la quantité de carbone soluble, de la capacité d'échange cationique (CEC), et des teneurs en azote et phosphore assimilable. Ces conditions plus favorables expliquent la minéralisation supérieure d'environ 16% du biochar et du résidu de plante dans le sol de charbonnière, par rapport au sol adjacent. Cependant, l'apport de ces substrats carbonés induit dans le sol de charbonnière une inhibition de la minéralisation de la matière organique native du sol du sol (*priming effect* négatif). L'adsorption d'une fraction de carbone organique soluble à la surface de la porosité des biochars est le principal mécanisme mis cause dans ce phénomène. Différemment, le *priming effect* négatif induit par l'apport de résidu de plante dans le sol de charbonnière s'explique principalement par une dégradation préférentiellement du substrat le plus labile, au détriment de la matière organique native du sol.

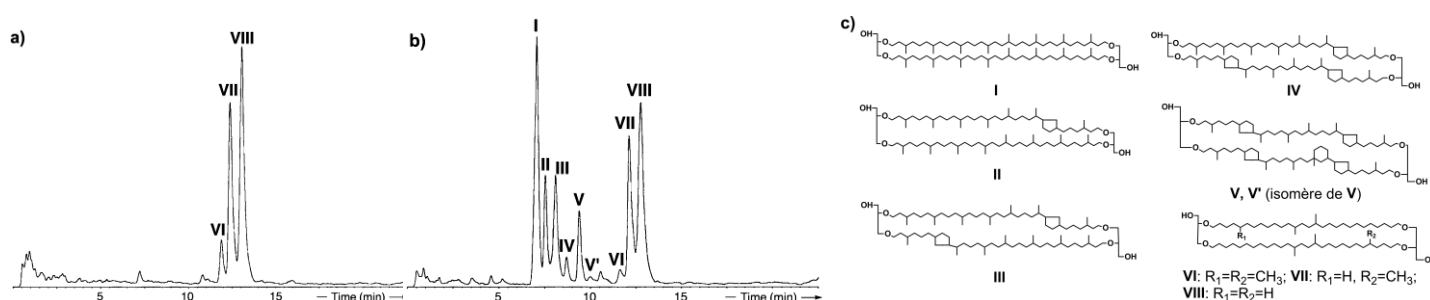
Par conséquent, l'apport de biochar à long terme impacterait durablement les propriétés physicochimiques, ainsi que le fonctionnement biologique du sol. Ces sols hérités suggèrent que les biochars, tout en séquestrant massivement du carbone dans les sols, permettraient en augmentant la rétention des nutriments, de limiter l'impact environnemental des agrosystèmes à long terme envers la ressource en eau. Néanmoins, les biochars, en retenant une forte quantité de carbone soluble, limiteraient les transferts de carbone vers les horizons profonds de sol, modifiant ainsi profondément la dynamique du carbone des sols.

Naisse C., Girardin C., Lefèvre R., et al., (2014) Effect of physical weathering on the carbon sequestration potential of biochars and hydrochars in soil, *Global Change Biology Bioenergy* (en presse), doi: 10.1111/gcbb.12158.

**Tétraéthers de diglycérol dans un profil de sol vosgien : distributions, datation et origines**Blandine COUREL<sup>1</sup>, Philippe SCHAEFFER<sup>1</sup>, Pierre ADAM<sup>1</sup>, Stefano M. BERNASCONI<sup>2</sup>, Irka HAJDAS<sup>3</sup>, Damien ERTLEN<sup>4</sup>, Dominique SCHWARTZ<sup>4</sup>

1. *Équipe de Biogéochimie Moléculaire, Institut de Chimie UMR 7177 CNRS, Université de Strasbourg, ECPM, 25, rue Becquerel 67200 Strasbourg, France*
2. *Geological Institute, ETH Zürich, Zürich, Switzerland*
3. *Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland*
4. *Laboratoire Image, Ville, Environnement, UMR 7362, Faculté de Géographie et d'Aménagement, Université de Strasbourg-CNRS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg-CEDEX, France*

Les tétraéthers de diglycérol isoprénoïdes et ramifiés (*i*-GDGTs **I-V'** et *br*-GDGTs **VI-VIII**, Fig. 1) sont des composés présents dans la plupart des environnements naturels, qu'ils soient marins, lacustres ou terrestres (sols, tourbières). Ils jouent le rôle de renforteurs membranaires chez les archées (*i*-GDGTs) et chez certaines bactéries acidophiles (*br*-GDGTs). Les *i*-GDGTs et *br*-GDGTs coexistent dans la plupart des sols, avec généralement une prédominance des *br*-GDGTs alors que l'inverse est observé dans les environnements aquatiques. Les distributions de GDGTs en milieu marin ont fait, et font toujours, l'objet de nombreuses publications et ont montré un fort potentiel dans le cadre d'études environnementales (Schouten et al., 2013). En revanche, les distributions des GDGTs contenus dans les sols (notamment dans les horizons profonds de sols) sont à ce jour encore peu ou mal documentées.



**Figure 1: Distribution des GDGTs (HPLC-MS) dans un profil de sol (prairie d'altitude du Massif du Hohneck, Vosges). a) horizon de surface (0-10 cm); b) horizon profond (40-50 cm); c) structures des *i*-GDGTs et *br*-GDGTs.**

Nous rapportons ici les résultats d'une étude des GDGTs effectuée dans une série d'échantillons provenant d'un profil de sol (ranker cryptopodzolique) de la prairie du Falimont (Massif du Hohneck, Vosgien). L'objectif de cette étude était d'analyser par LC-MS les distributions des GDGTs au sein d'un profil de sol et l'étude de leur possible origine en associant mesures de datation au radiocarbone et composition isotopique du carbone. Ces mesures, effectuées sur des fractions isolées de GDGTs, ont nécessité au préalable plusieurs étapes de purification et de séparations chromatographiques. Les quantités obtenues (de l'ordre de la centaine de microgrammes) ont été suffisantes pour permettre la détermination des temps de résidence moyens (TMR) à partir des GDGTs ainsi isolés. En effet, les techniques actuelles de datation (AMS, MICADAS équipé d'une sonde micro-volume) rendent possibles les mesures de datation sur des quantités très faibles de carbone organique. Le protocole d'isolement mis au point pourra ultérieurement être plus généralement appliqué à l'analyse et à la datation des GDGTs dans tous les types d'environnements.

Alors que l'échantillon de surface (0-10 cm; Fig. 1a) contient exclusivement des *br*-GDGTs, une augmentation progressive de l'abondance relative des *i*-GDGTs avec la profondeur (Fig. 1b; échantillon à 40-50 cm présenté) a été observée, qui pourrait être liée à la présence de molécules "fossiles", témoins d'une population passée d'archées. Les mesures de datation au <sup>14</sup>C indiquent que les *br*-GDGTs en surface présentent un TMR compatible avec l'utilisation d'une source de carbone récente à sub-récente (200 ans BP). En revanche, les *i*-GDGTs et *br*-GDGTs coexistant en profondeur ont un TMR comparable entre eux (environ 1500 ans BP) alors que la matière organique de ce même sol, tout comme la fraction des *n*-alcanes (2426 et 5500 ans BP, respectivement) sont nettement plus anciens. Ces résultats suggèrent soit que les GDGTs dans les horizons profonds correspondent à un mélange de pools anciens et plus récents, soit que les TMR mesurés reflètent l'utilisation par les microorganismes producteurs de GDGTs (i.e., Thaumarchéotes et bactéries hétérotrophes) à la fois de matière organique ancienne et de matière organique plus récente comme source de carbone. Les valeurs de δ<sup>13</sup>C sont en accord avec celles obtenues par Weijers (2010) et, combinées aux mesures de TMR, permettent d'étendre les données concernant les GDGTs dans les sols dans le but de mieux comprendre l'écologie des microorganismes producteurs de GDGTs dans les sols, en cernant mieux leur(s) possible(s) source(s) de carbone et origines.

**Références**

Schouten, S., Hopmans, E.C., Sinninghe Damsté, J.S., **2013**, *Organic Geochemistry*, 54, 19-61.

Weijers, J.W.H., Wiersberg, G.L.B., Bol, R., Hopmans, E.C., Pancost, R.D., **2010**, *Biogeosciences*, 7, 3691-3734.

## **L'apport des colluvions agricoles dans la reconstitution des dynamiques paysagères à partir de la méthode de la Spectroscopie dans le Proche InfraRouge (SPIR) qualitative.**

**FROEHLICHER Lucie <sup>1</sup>, ERTLEN Damien <sup>1</sup>, VYSLOUZILOVA Barbora <sup>1&2</sup>,  
SCHWARTZ Dominique <sup>1</sup>**

1 : Faculté de Géographie et d'Aménagement, UMR 7362, Laboratoire Image Ville Environnement, Dynamique des paysages, UDS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

2: Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Science, Charles University in Prague, Albertov 6, 128 43 Praha 2, CZ

[lucie.froehlicher@live-cnrs.unistra.fr](mailto:lucie.froehlicher@live-cnrs.unistra.fr)

Les travaux de Ertlen (2009) ont permis d'identifier l'origine végétale (prairies ou forêts) des matières organiques des sols. Toutefois, à l'origine bipartite, ce référentiel se caractérise par les sets forêts et prairie et occulte la référence culturelle. Or en milieu tempéré, l'occupation du sol est de trois grands types : forêt, prairie et culture. Cette absence de la référence culture peut aboutir à de mauvaises identifications de l'origine végétale de la matière organique de l'échantillon en question. Le but poursuivi est donc ici de passer d'un référentiel bipartite (prairie et forêt) à un référentiel tripartite (prairie, forêt et culture).

Avec des systèmes actuels monocultureux intensifs (maïs, blé,...) et le déclin des assolements, cet objectif est délicat à mettre en œuvre puisque ces systèmes de cultures ne sont pas comparables aux systèmes agricoles traditionnels auxquels est destiné le futur référentiel.

Pour pallier ce problème, les colluvions agricoles datées du Néolithique à l'Epoque Moderne apparaissent comme l'outil idéal. En effet, en formulant l'hypothèse que ces colluvions résultent de l'érosion des sols cultivés, on admet par conséquent que la matière organique qu'elles contiennent est représentative d'un signal de sol cultivé de l'époque en question.

L'analyse discriminante établie sur les spectres des trois sets de références : « prairies », « forêt » et « culture » acquis par la méthode de la Spectroscopie dans le Proche InfraRouge (SPIR), montre qu'une différenciation des trois origines végétales est possible. En effet, on distingue de manière très nette trois classe bien distinctes où 100 % des échantillons de références ont été affectés dans leur classe d'origine après la validation croisée.

Néanmoins, la validité de ce référentiel reste discutable puisque la concentration des valeurs de pH et des teneurs en carbone organique (C.O.) semble influencer en partie la classification des références (pondération trop importante du pH et du C.O. dans l'analyse discriminante). Ainsi, la discrimination n'est pas faite uniquement sur l'objet d'étude : l'origine végétale de la matière organique, mais aussi sur des caractéristiques pédologiques.

Toutefois, l'application de ce nouveau référentiel sur le site du village disparu d'Elmerforst (Bas-Rhin, France) a permis de conforter la validité de notre hypothèse : colluvions = signal cultural, et de nuancer l'influence des caractéristiques pédologiques (pH & C.O.). En effet, une

évolution du couvert végétal au centre du village est identifiée et caractérisées par un signal cultural en profondeur cohérent avec l'occupation du sol relevé sur les cartes anciennes du XVIIIème siècle, où l'on retrouve des parcelles agricoles. Ce signal cultural très fort au centre du village disparu s'estompe vers la périphérie où le signal forestier est prédominant sur toute la profondeur des profils.



## **Analyses des distributions et des compositions isotopiques actuelles des *n*-alcanes en provenance des lacs de la région de Wilderness (Cap-Occidental, Afrique du Sud) en vue d'une reconstruction de la paléo-végétation et paléo-hydrologique**

Nina Davtian<sup>a\*</sup>, Nicole Herrmann<sup>a</sup>, Michael Wündsche<sup>b</sup>, Torsten Haberzettl<sup>b</sup>, Enno Schefuß<sup>a</sup>

<sup>a</sup> MARUM - Centre de recherche en sciences environnementales marines, Université de Brême, Leobener Straße, 28359 Brême, Allemagne

<sup>b</sup> Géographie Physique, Institut de Géographie, Friedrich-Schiller Universität d'Iéna, Löbdergraben 32, 07743 Iéna, Allemagne

### **Résumé**

L'Afrique du Sud comprend trois zones climatiques selon la répartition saisonnière des précipitations. La partie ouest reçoit la majorité des précipitations en hiver tandis que la partie est reçoit la majorité des précipitations en été. Dans la zone centrale, située entre les deux autres, les précipitations sont réparties sur toute l'année. Si la variabilité de ces zones climatiques est relativement bien comprise à l'échelle des cycles glaciaires-interglaciaires, elle l'est nettement moins à celle l'Holocène. Ceci est particulièrement vrai pour la zone climatique centrale qui reflète les interactions entre les deux autres et comprend la région de Wilderness, située à l'extrême sud de l'Afrique du Sud. Les enregistrements paléo-climatiques en provenance de la zone climatique centrale sont extrêmement rares. Ce travail de recherche vise à étudier la région de Wilderness en vue des analyses organiques et repose sur trois approches principales. Les compositions isotopiques en oxygène et en hydrogène des eaux lacustres et fluviales ont permis d'estimer celles des eaux météoriques dans la région de Wilderness (-14‰ pour l'hydrogène) et de décrire le système hydrologique actuel. Actuellement, les lacs de la région de Wilderness subissent une forte évaporation en plus des apports fluviaux et des influences océaniques intermittentes. Les distributions actuelles des alcanes linéaires et leurs compositions isotopiques en carbone et en hydrogène dans les sédiments de surface ont permis de déterminer les principales sources d'alcanes linéaires. De plus, les alcanes linéaires ont permis d'obtenir des données hydrologiques complémentaires au sujet de la région de Wilderness. Les contributions des plantes frutescentes et herbacées en C3 dominant tandis que celles des plantes de berge, semi-aquatiques et submergées sont limitées. Par conséquent, les alcanes linéaires enregistrent au premier ordre les signaux d'origine terrestre dans la région de Wilderness. Ces informations ont été appliquées à un enregistrement préliminaire qui couvre 8,2 milliers d'années (de 10,4 à 2,2 ka BP) à partir d'une carotte de sédiments échantillonnée dans la région de Wilderness. Le nouvel enregistrement a également été comparé aux quelques rares autres disponibles en provenance de la zone climatique centrale. Conformément aux attentes, l'enregistrement préliminaire met en évidence une expansion des forêts en lien avec une baisse de l'aridité suivie d'une déforestation après 2,2 ka BP, probablement due à l'influence anthropique. Toutes ces conclusions doivent être confirmées à cause du manque d'échantillons pour l'actuel et d'une résolution temporelle limitée pour l'enregistrement paléo-climatique.

\* En stage dans ce laboratoire, étudiante en Master Sciences Technologies Santé, mention Sciences de la Terre, spécialité Paléontologie Sédimentologie Paléoenvironnements, Université Claude Bernard Lyon 1, 43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69100 Villeurbanne, France  
Numéro de téléphone (mobile) : +33 6 47 34 93 71  
Adresse électronique : [nina.davtian@ens-lyon.fr](mailto:nina.davtian@ens-lyon.fr) (N. Davtian)

## **Comparaison de méthodes chimiques et thermochimiques pour l'analyse des sucres d'une tourbière du Limousin.**

Ghizlane ABDELLI, Laurent GRASSET

Université de Poitiers, CNRS UMR 7285 (IC2MP), 4 rue Michel Brunet – TSA 51106  
86073 Poitiers Cedex 9, France

Les tourbières ne représentent que 3 % de terres émergées, mais s'y stocke plus que 60 % du CO<sub>2</sub> dans les sols. Elles sont aussi d'importantes archives pour la reconstitution des changements environnementaux de ces dix derniers millénaires, la litière végétale s'y accumulant avec un temps de décomposition très lent.

Cette étude concerne l'analyse des sucres d'une tourbière (Sagnes, commune de Bessines, Haute-Vienne). Les résultats et la pertinence de différentes méthodes d'analyse moléculaire éprouvées ou originales ont été comparés : des hydrolyses acides (HCl, TFA) et des thermochemiolyse en présence de l'agent alkylant : hydroxyde de tétraméthylammonium (TMAH) et de l'agent silylant : hexaméthylidisilazane (HMDS). Les produits obtenus sont identifiés par CG/SM. Différents mécanismes sont impliqués dans chaque procédé : hydrolyse et acétylation pour les hydrolyses acides, hydrolyse et méthylation avec TMAH et silylation avec HMDS.

Ces trois méthodes ne donnent donc pas les mêmes résultats. Ces derniers peuvent s'avérer complémentaires pour une étude la plus exhaustive possible de la nature des sucres présents dans de tels dépôts sédimentaires. Elles peuvent, en outre, être choisies individuellement en fonction des objectifs fixés. En effet, alors que la thermochemiolyse en présence d'HMDS ne permet d'analyser que des sucres libres et désorbables, en présence de TMAH se sont les libres désorbables et piégés dans la matrice organique qui peuvent être analysés. Enfin les méthodes de dégradations chimiques donnent accès aux sucres simples et polyoses.

**Mots-clés** : Tourbière; Hydrolyses acides; Thermochemiolyse; TMAH; HMDS; Sucres.

## **Reconstitution de l'histoire de la formation sédimentaire d'une tourbière impactée par une perturbation argileuse par l'étude de biogéomarqueurs moléculaires**

Khaled YOUNES, Laurent GRASSET

Université de Poitiers, CNRS UMR 7285 (IC2MP), 4 rue Michel Brunet – TSA  
51106  
86073 Poitiers Cedex 9, France

Les tourbières sont des écosystèmes dans lesquels l'eau est omniprésente et les quantités de biomasse initiales ou transformées toujours supérieures aux quantités décomposées et minéralisées.

Dans le cadre d'un partenariat scientifique entre AREVA et l'Université de Poitiers, nous avons pu effectué une cartographie moléculaire d'une tourbière acide (type de tourbière le plus commun sous les climats continentaux) et discuté de la réelle pertinence, dans ce cas, des différents bio(géo)marqueurs habituellement utilisés.

En effet, la qualité et les quantités (absolues et relatives) des structures moléculaires bio(géo)chimiques rencontrées dans un sédiment renseignent sur l'origine biologique et l'état de transformation de ce dernier. Elles renseignent directement sur la nature des événements successifs qui ont conduit à la formation de ce sédiment

Ces analyses moléculaires portent sur 3 carottés d'une tourbière impactée par un dépôt argileux (stérile minier). Elles concernent ici l'analyse les lipides simples, des phospholipides, des sucres et des monomères de lignine.

Les premiers résultats obtenus semblent montrer la très faible influence de ce type de perturbation sur ces environnements naturels particuliers.

**Mots clés** : Tourbières, phospholipides, lipides simples, lignine, sucres, méthodes de dégradations chimiques.

## **Diversité structurale, rôle écophysio­logique et utilité potentielle pour les études (paléo)environnementales des éthers de glycérol bactériens**

Auteurs : Arnauld Vinçon-Laugier <sup>1</sup>, Vincent Grossi <sup>1</sup>, Muriel Pacton <sup>1</sup>, Cristiana Cravo-Laureau <sup>2</sup>

1 : Laboratoire de géologie de Lyon (LGL-TPE). Université Claude Bernard-Lyon1, CNRS: UMR5276. Villeurbanne - France

2 : Université de Pau et des Pays de l'Adour, équipe Environnement et Microbiologie, UMR-CNRS IPREM 5254. Pau - France

### Résumé :

Chez les procaryotes, la structure des lipides membranaires diffère entre le domaine des Bacteria et celui des Archaea. De manière générale, les phospholipides bactériens sont constitués d'acides gras à chaînes carbonées linéaires estérifiés à une molécule de glycérol, alors que les lipides d'archées sont composés de chaînes carbonées isopréniques reliées à un ou deux glycérols par des liaisons éthers (di- et tétraéthers de glycérol isoprénoïdes). Ces distinctions structurales ont des implications en termes d'écologie et d'évolution entre les Bacteria et les Archaea, et permettent l'utilisation de ces molécules comme biomarqueurs (paléo)environnementaux.

Détectés chez différentes bactéries (hyper)thermophiles, les diéthers de glycérol non-isoprénoïdes (composés de chaînes carbonées linéaires liées à un ou deux glycérols par des liaisons éthers) constituent une exception aux distinctions chimiques suscitées. En effet, ils se situent à l'intersection entre les lipides de bactéries et d'archées. Ces biomolécules sont souvent considérées comme une caractéristique de bactéries extrémophiles. Cependant, une grande variété de ces composés a été observée dans différents écosystèmes non-extrêmes, incluant des environnements associés à l'oxydation anaérobie du méthane, où les origines et les modes de formation de ces lipides sont inconnus. Récemment, l'analyse de la composition lipidique de souches pures de bactéries sulfato-réductrices a démontré, pour la première fois, la présence de diéthers non-isoprénoïdes chez des bactéries mésophiles marines. L'un des principaux buts de cette étude est de mieux caractériser la structure et la diversité de ces lipides particuliers, et de définir leurs rôles (éco)physiologiques (i.e., possible rôle dans l'adaptation membranaire) chez les bactéries mésophiles. La culture de souches pures dans différentes conditions contrôlées (substrats de croissance, température, pH, salinité variables) ont permis d'expliquer une part de la diversité structurale des éthers de glycérol observés in situ, et de démontrer l'implication de ces lipides dans l'adaptation membranaire des bactéries mésophiles en réponse à des changements de paramètres physico-chimiques, suggérant l'utilité de ces biomarqueurs comme proxys (paléo)environnementaux.

## Dynamiques d'évolutions des luvisols suivant leurs histoires agricole et forestière

BRASSEUR Boris <sup>1</sup>, HOREN Hélène <sup>1</sup>, FEISS Thomas <sup>1</sup> et BURIDANT Jérôme <sup>1</sup>,

<sup>1</sup>EDYSAN, FRE CNRS 3498, Equipe GEP, Université de Picardie Jules Verne, 1 rue des Louvels 80037 Amiens

Mots clefs : *lœss, usages anciens, géochimie, pédologie, géohistoire*

Les luvisols sur lœss du nord de la France constituent d'excellents supports de production agricole ou sylvicole. Leur fertilité actuelle résulte d'une évolution lente gouvernée par un ensemble de facteurs naturels mais aussi étroitement dépendante des pratiques agricoles et sylvicoles passées.

L'objectif de ce travail est d'étudier la dynamique d'évolution des propriétés de ces sols en fonction de leurs usages passés à une échelle pluriséculaire. Pour cela, nous avons sélectionné un ensemble de sols pour lesquels les conditions climatiques (océanique tempéré), le substrat géologique (lœss) et la situation topographique (plateau) sont homogènes. Ces sols sont situés sur une zone géographique restreinte entre le nord de l'Aisne, l'est de la Somme et le sud du Pas de Calais.

Deux cas de figure ont été considérés, d'une part les sols actuellement sous forêt et d'autre part les sols actuellement sous champs. L'usage ancien de ces sols a été déterminé à partir de documents géohistoriques tels que les cartes d'état-major (milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle), les registres du cadastre napoléonien, ou encore les photographies aériennes (depuis 1939). Ces documents permettent d'aborder la cinétique d'évolution d'un sol anciennement cultivé qui a été reboisé à des époques distinctes mais également le mécanisme inverse de sols anciennement boisés qui ont été défrichés et passés sous culture à des âges divers.

Les sols ont été échantillonnés sur toute l'épaisseur du profil jusqu'à la roche mère. Chaque site fait l'objet de 3 prélèvements minimum afin de s'assurer de la représentativité des données. Un ensemble de propriétés chimiques a été mesuré sur cet échantillonnage (pH<sub>eau</sub>, C, N, éléments majeurs, mineurs et traces...). Les pH déterminés par la moyenne des trois prélèvements sont représentés sur la figure 1 jusqu'à 250cm de profondeur. Au delà de cette limite, les variations d'épaisseur du sol perturbent la lecture de cette dynamique. Les états de champ ancien et forêt ancienne sont définis dès lors que l'usage est inchangé depuis les documents d'état-major. La figure 1-a illustre la dynamique des pH lors d'une conversion champ vers forêt. Le profil du champ ancien montre un pH proche de la neutralité très homogène sur toute l'épaisseur alors que les profils de forêt ancienne montrent des pH voisins de 4 en surface et un léger gradient de pH vers la profondeur. Néanmoins, les pH restent très acides puisqu'ils ne dépassent pas 5,5 à 250 cm de profondeur. Trois situations intermédiaires ont pu être échantillonnées pour des conversions en forêt respectivement de 150, 100 et 10 ans. Elles montrent que si après plus de 150 ans d'occupation forestière les pH de surface ne peuvent être discriminés des pH de forêts anciennes, les pH à 50cm sont très nettement supérieurs et rejoignent les valeurs déterminées pour le champ ancien en profondeur. La figure 1b montre des cinétiques

beaucoup plus rapides lors d'une conversion forêt vers champ car si après 5 ans seul l'horizon labouré est modifié, à 100 ans le profil est totalement homogénéisé sur 250cm.

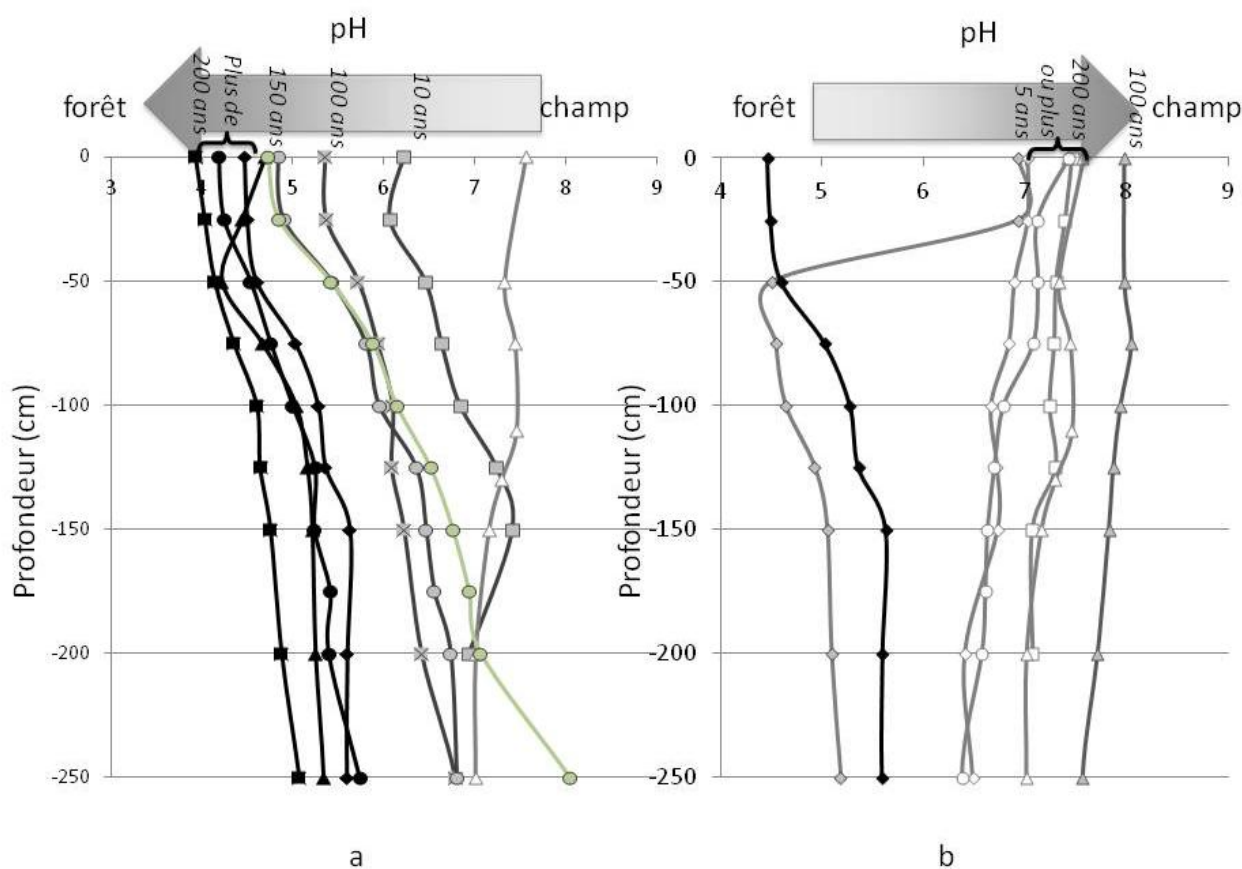


Figure 1 : Evolution des pH lors d'une conversion champ → Forêt (a) et lors d'une conversion forêt → champ (b). Les figurés noirs représentent les forêts anciennes, les figurés blancs les champs anciens et les figurés gris représentent les cas intermédiaires. 4 sites sont représentés ici, Plomion (losanges), Trescault (croix), Metz en Couture (carrés), et Havrincourt (triangles), Aubenton (ronds). A Aubenton, sur anciens champs boisés depuis 150 ans deux assemblages sont distingués, l'un (trait clair) avec un Ck à 250cm et l'autre (trait gris moyen) sans Ck.

Ces résultats montrent que l'évolution verticale des pH en forêt peut être utilisée comme marqueur d'un usage agricole passé au moins sur 2 siècles. A l'inverse, l'occupation forestière ancienne semble ne plus être décelable par le pH au delà de 100 ans de mise en culture si les pratiques de redressement par amendements basiques calciques sont suffisantes. Les résultats des analyses complémentaires et les perspectives ouvertes par ce travail seront également discutées.

## **Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace ?**

### **Perspectives historiques, systèmes agraires futur, érosion, effet sur le colluvionnement et le stockage de carbone.**

**FROEHLICHER Lucie <sup>1</sup>, SCHWARTZ Dominique <sup>1</sup>, ERTLEN Damien <sup>1</sup>**

1 : Faculté de Géographie et d'Aménagement, UMR 7362, Laboratoire Image Ville Environnement, Dynamique des paysages, UDS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

[lucie.froehlicher@live-cnrs.unistra.fr](mailto:lucie.froehlicher@live-cnrs.unistra.fr)

Ce poster pose les bases d'une thèse qui vient de débiter (octobre 2013). Il est donc essentiellement méthodologique.

Dans les zones sensibles à l'érosion en Alsace, le Sundgau et le Kochersberg apparaissent comme des zones particulièrement fragiles. Avec des sols développés sur matériaux loessiques caractérisés par une faible stabilité structurale, associés à des systèmes agraires monospécifiques (maïs), ainsi qu'à une topographie et à un climat défavorables (pentes relativement fortes, précipitations orageuses de printemps), ces espaces sont sujets à des coulées de boues parfois spectaculaires.

Pour pallier ces problèmes, l'établissement de fascines ou « haies mortes » et de haies vives (programme GERIHCO 2 & 3) permet de tester des alternatives à ces espaces d'openfields vulnérables à l'érosion. Les conséquences de l'implantation de ces structures sont multiples :

- Paysagères (modifications visuelles des systèmes agraires)
- Pédologiques (modification des dynamiques colluviales avec un « fractionnement » et une diminution des coulées) ;
- Ecologiques (les haies jouent le rôle de trame verte) ;
- Economiques (valorisation des produits des haies, nouveau système agricole) ;
- Sociales (capacité d'adaptation et d'acceptation d'un « nouveau paysage »).

Néanmoins, il n'est pas possible de mesurer l'efficacité de ces haies vives sur le long terme sans une expérimentation longue. En effet, pour mesurer l'impact de ces systèmes, il faut quantifier les stocks de terre et de matière organique colluvionnés, puis stoppés par les haies. Or, pour valoriser et justifier l'implantation de ces systèmes de haies qui remet en question un pourcentage non négligeable des paysages agricoles actuels en Alsace, il est essentiel de pouvoir prédire ce qu'il va se passer. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail.

Dans cette perspective, nous avons entrepris une approche temporelle des systèmes de haies anciens (médiévaux ?), matérialisés par des rideaux de culture. L'objectif est de quantifier les flux de colluvions et de carbone bloqués derrière les haies. Le choix des sites étudiés doit répondre à plusieurs critères : localisation en zone loessique, en pente, abondance des rideaux de culture traduisant un passé agricole ancien.

Après analyse des images LIDAR et de nombreuses prospections de terrains, le site de Habsheim fait partie des zones sélectionnées pour réaliser cette étude sur le rôle des

systèmes haies face aux dynamiques colluviales d'origine agricole. Ainsi un transect permet de recouper deux talus colluviaux ou « rideaux de culture » ayant permis de bloquer les colluvions (figure 1).

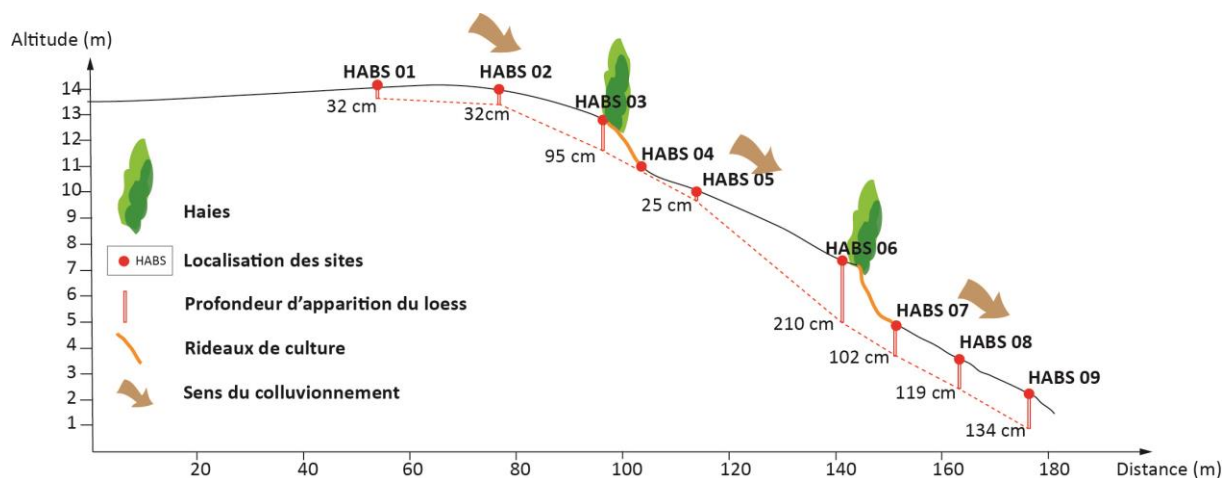


Figure 1: Profil en coupe du site d'Habsheim; Source: Lucie Froehlicher

Cette figure présente neuf sites de prélèvements (de HABS 01 à HABS 09). Pour chacun d'entre eux, une fosse est réalisée et permet de déterminer la profondeur d'apparition des loëss et les différents horizons du sol. Ainsi, il est possible de déterminer l'origine des matériaux colluvionnés. Ce matériau sera daté (OSL, carbone 14) afin de mesurer les flux de terre et de carbone. Les stocks de carbone entre parties amont et aval séparant deux rideaux seront mesurés, pour évaluer le rôle de ces dispositifs dans le bilan du carbone et améliorer la connaissance du rôle de ce dispositif agricole dans la thématique « changement global et agriculture durable ».

Les résultats escomptés de cette étude sur ces systèmes agraires du passé, doivent permettre d'en avoir une meilleure connaissance (âge, répartition,...), et d'établir ainsi les meilleures préconisations et conseils pour une gestion future du milieu.



## **L'héritage pédo-sédimentaire des paléo-lacs Holocènes du Nord Sahara : signification paléo-climatique, cas de site de Sedrata (cuvette de Ouargla), Algérie**

HAMDI-AÏSSA Baelhadj<sup>(1)</sup>, YUCEF Fouzia<sup>(1)</sup> et SELLAMI Farid<sup>(2)</sup>, PRODEO  
Frédérique<sup>(2)</sup>, HADJ-MAHAMMED Mahfoud<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ Ouargla, Fac. des sciences de la nature et de la vie, Lab. Biochimie des milieux désertiques, Ouargla 30 000, Algeria, e-mail : hamdi\_30@yahoo.fr

<sup>(2)</sup> INRAP, GSO, Centre archéologique du château de Campagne, 24260 Campagne, France

### **Introduction**

Les reconstitutions paléo-climatiques reposant sur l'analyse d'archives sédimentaires de paléo-lacs nécessitent une bonne compréhension des processus sédimentaires et pédologique contrôlant la distribution et l'organisation des matériaux pédo-sédimentaire dans un bassin versant, ainsi que leur évolution au cours du temps. La caractérisation des remplissages sédimentaires peut aujourd'hui reposer sur un vaste panel de techniques et de méthodes, et sur une approche multi-disciplinaire. Au Sahara les conditions d'aridité actuelle lui confèrent une grande importance quant à la reconstitution des changements environnementaux passés. Dans ce milieu les matériaux pédo-sédimentaires anciens « géo-archives » résulte d'une longue évolution contrastée au cours de l'Holocène (Damnati, 2000 ; Gasse, 2000 ; Youcef, F. and Hamdi-Aïssa, 2014). Cette évolution est finement enregistrée dans des fonds des paléo-lacs qui étaient largement plus développés au lieu des oasis actuelles. Le présent travail a comme objectif l'étude pédo-sédimentaire et micropédologique des paléolacs Holocènes de Sedrata (cuvette de Ouargla, Algérie) en vue de montrer leur utilité comme outil de reconstitution « proxy » du paléo-environnement.

### **Matériel et méthodes**

Les investigations ont été réalisées dans plusieurs sites de paléo-lacs dans la limite nord du site archéologique médiévale de Sedrata (cuvette de Ouargla) (31°54'N, 5°18'E) (Fig. 1). Les prospections sur terrains ont permis la réalisation des sondages et des coupes stratigraphiques qui ont mis au jour une bonne partie de la séquence Holocène. L'étude morphologique des coupes sur terrain a été poursuivie par une caractérisation analytique au laboratoire. Les échantillons de sol non perturbés ont permis la réalisation des lames minces pour l'étude micromorphologique (Bullock et al., 1985).

### **Résultats et discussions**

Les coupes prospectées se composent d'une alternance contrastée de couches argilo-tourbeuses et de niveaux sableux homogènes plus ou moins hydromorphes (Fig. 2) montrant un paysage lacustre nettement différent du milieu aride actuel. Ces couches reflètent respectivement une suite de phases humides et de périodes aride marquant la déflation éolienne de la surface du sol. L'évolution excentrique de l'épaisseur de la couche tourbeuse de 1,2m à 5 cm a permis de circonscrire la zone humide et de localiser les berges et ce qu'elles peuvent comporter en termes de traces anthropiques. Bien qu'aujourd'hui recouverte par des dunes sableuses, la berge Sud/Est du paléo-lac est marquée par la présence de la ville médiévale de Sedrata (Cressier et Gilotte, 2012).

**Approche pédologique et micromorphologique :** La surface du sol est dominée par des croûtes gypseuses. Leur épaisseur d'environ 20cm indique que leur formation a eu lieu sous un climat nettement plus humide que l'actuel. Les traits cristallins gypseux sont formés à partir d'eau souterraine saturée en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ils offrent une grande diversité des micro-assemblages qui implique un scénario de hiérarchisations des épisodes d'aggradation et de dégradation de gypse, interrompus par des événements d'érosion hydro-éolienne.

L'abondance des pseudomorphoses de gypse par la calcite dans certains horizons donne à ces derniers une échelle de fonctionnement temporel encore beaucoup plus large.

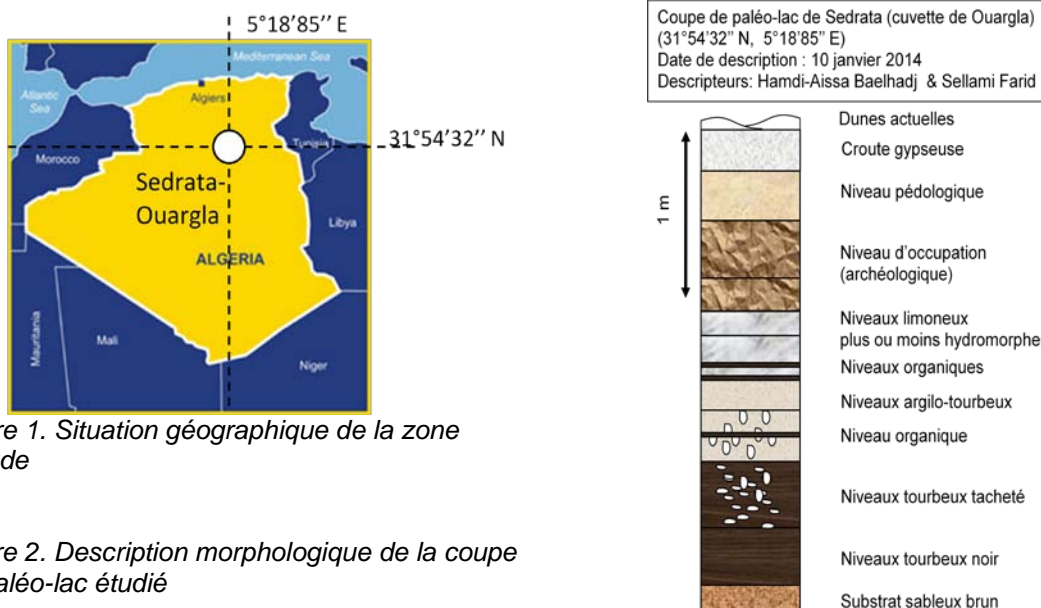


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

Figure 2. Description morphologique de la coupe du paléo-lac étudié

La formation des niveaux calcaires étudiés ont une origine lacustre où les précipitations étaient importantes. Les micrites et microsparites de nappes ont aggradé dans ces régions pendant plusieurs épisodes quand les sols ont été saturés en eau de faible charge ionique. Ceci peut traduire un apport élevé d'eaux douces et une évaporation limitée. Une telle aggradation de la calcite exige une haute  $pCO_2$ , ce qui implique une végétation abondante et une importante activité biologique dans le sol. Les revêtements d'argile autour des grains de quartz indiquent une origine plus ancienne (hérités). Les couches organiques noires et grises et les niveaux tourbeux observés au fond de la coupe (Fig. 2) indiquent l'évolution de la matière organique à une période plus humide.

### Conclusion et perspectives

Les niveaux argilo-tourbeux, les traits texturaux et les différentes formes de cristallisation de calcite et du gypse et des variations de sa composition géochimique convergent également pour montrer ces variations très contrastées du milieu naturel durant l'Holocène. La corrélation des événements majeurs peut faire le lien avec les changements climatiques autour du bassin méditerranéen, voire avec ceux identifiés en Europe de l'ouest. Nos perspectives à court terme suite à cette première phase d'investigation consistent à compléter la compréhension de ces résultats par l'étude approfondie des niveaux tourbeux en utilisant la palynologie et les techniques de datation absolues.

### Références

- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina, and C. Babel. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton
- Cressier, P. et Gilotte, S. 2012. Les stucs de Sedrata (Ouargla, Algérie) : Perspectives d'étude. In. 1<sup>er</sup> Congrès International du Réseau Européen des Musées d'Art Islamique, (Granada, Espagne 25-27 avril 2012), pp 503-52
- Damnati, B. 2000. Holocene lake records in the Northern Hemisphere of Africa. *Journal of African Earth Sciences* 31: 253–262.
- Gasse, F. 2000. Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Review* 19: 189–211.
- Youcef, F. and Hamdi-Aïssa, B. 2014. Paleoenvironmental reconstruction from palaeolake sediments in the area of Ouargla (Northern Sahara of Algeria). *Arid Land Research and Management*, 28:129–146

## **Changements environnementaux au lac Pavin (Massif Central, France) depuis sa formation basés sur les biomarqueurs organiques**

Julie Lattaud, Matthew Makou, Vincent Grossi

Laboratoire de Géologie de Lyon (LGLTPE), Université Claude Bernard Lyon 1, UMR5276 CNRS, Villeurbanne, France

Le Lac Pavin (Puys de Dôme, Massif central, altitude 1197m) est un lac de cratère (maar) qui s'est formé il y a environ 7000 ans, lors de la dernière éruption volcanique en Auvergne. Sa morphologie, son hydrogéochimie et son origine volcanique lui confèrent des caractéristiques particulières, telle qu'une stabilité physico-chimique remarquable de ses eaux de fond et son caractère méromictique (la partie profonde du lac de 60 à 92m n'est actuellement jamais mélangée et constamment anoxique). Si différents travaux se sont intéressés au fonctionnement du lac actuel, et aux variations environnementales ayant eu lieu durant les 700 dernières années, les informations disponibles sur l'histoire environnementale du lac depuis sa formation (i.e. changements de son fonctionnement biogéochimique et de la végétation du bassin versant, influences climatique et anthropique, etc.) sont encore limitées.

Un carottage réalisé au point le plus profond du lac (92 m) a récemment permis de collecter une série sédimentaire couvrant pratiquement toute l'histoire sédimentaire du lac Pavin. Dans cette étude, nous avons initié la caractérisation de la matière organique (MO) dans une série d'échantillons sélectionnés le long de cet enregistrement sédimentaire. Les distributions des constituants individuels de la MO (biomarqueurs lipidiques) et de ses paramètres globaux (TOC, C/N,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) mettent notamment en évidence :

- le développement progressif, après la mise en eau du lac, d'une colonne d'eau stratifiée et d'une zone photique euxinique qui semble s'être maintenue pendant près de 5000 ans jusqu'à environ 700 BP. Cette période de forte euxinie est caractérisée par une relative stabilité de l'écosystème aquatique et par une dominance des communautés procaryotes et phytoplanctoniques ;
- d'importantes modifications du fonctionnement biologique et biogéochimique du lac pouvant être reliées à un effondrement gravitaire à environ 700 BP. Cet événement est également en relation avec la fin de l'euxinie dans la zone photique et une augmentation de la productivité primaire et secondaire par de nouveaux assemblages planctoniques ;
- des modifications importantes de la végétation du bassin versant à plusieurs reprises depuis l'origine du lac, pouvant être reliées durant les 700 dernières années à des variations climatiques enregistrées à l'échelle de l'Europe (minima solaires, Petit Age Glaciaire), et, à partir du début du XIX<sup>ème</sup> siècle, à l'activité humaine aux abords du lac (déforestation /reforestation).

## Sols de jardins potagers : des caractéristiques intermédiaires entre sols agricoles et SUITMAS

**JOIMEL Sophie<sup>1,2</sup>, CORTET Jérôme<sup>3</sup>, BRANCHU Philippe<sup>4</sup>,  
CHENOT Elodie-Denise<sup>1,2</sup>, CONSALES Jean Noël<sup>5</sup>, JOLIVET Claudy<sup>6</sup>,  
MOREL Jean Louis<sup>1,2</sup>, SABY Nicolas<sup>6</sup>, SCHWARTZ Christophe<sup>1,2</sup>**

1 : Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine, UMR 1120, F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy, France, sophie.joimel@univ-lorraine.fr, elodie.chenot@univ-lorraine.fr, jean-louis.morel@univ-lorraine.fr, christophe.schwartz@univ-lorraine.fr

2 : Laboratoire Sols et Environnement, INRA, UMR 1120, F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy, France

3 : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Université Paul Valéry-CNRS, UMR 5175, F- 34293 Montpellier, France; jerome.cortet@univ-montp3.fr

4 : Cerema Direction territoriale Ile de France, F-78190 TRAPPES, France, philippe.branchu@cerema.fr

5 : Université de Provence, UMR 7303, TELEMME, CNRS, Aix-en-Provence, jean-noel.consales@univ-amu.fr

6 : INRA, US 1106 Infosol, F-45075 Orléans Cedex 2, France, claudy.jolivet@orleans.inra.fr, nicolas.saby@orleans.inra.fr

Les sols urbains sont le support d'une grande variété d'activités (e.g. habitat, industries, parcs et jardins) (Norra et Stuben 2003; Morel *et al.* 2005). Afin de comprendre leurs fonctionnements, il convient de choisir des sols modèles pour approfondir les fonctionnements croisés de la faune et de la flore en relation avec les caractéristiques physico-chimiques des sols.

En France, les jardins potagers couvrent plus d'un million d'hectares et sont situés dans des secteurs anthropisés en milieu urbain, péri-urbain ou rural. Pour McDonald et Balasko (2003), les sols de jardins sont avant tout des sols agricoles sièges de pratiques intenses, alors que pour d'autres auteurs, ce sont des sols spécifiques, formant une catégorie à part d'Anthrosols hortiques aux caractéristiques contrastées (Schwartz et Toutain 1999; Morel et Schwartz 1999). De par leur localisation proche des activités humaines, les caractéristiques physico-chimiques des sols de jardins sont susceptibles d'être modifiées, induisant des changements dans leur fonctionnement (Morel *et al.* 2005). Technosols ou simplement sols naturels présents en milieu urbain, il convient de mieux connaître l'état et le fonctionnement des sols de jardins pour mieux gérer les sites d'implantation actuels et futurs. La grande diversité des sols de jardins représente un challenge lors de leur étude systématique sur le territoire français (Dewaelheyns *et al.* 2013). Le programme SOJA<sup>1</sup> (ADEME, 2010) a permis de dresser un état des lieux des connaissances sur les sols de jardins français (Chenot *et al.* 2013) et de proposer une approche pour leur étude. Ils sont influencés par sept facteurs principaux (Schwartz *et al.* 2010) : milieu actuel (e.g. urbain, rural, péri-urbain) (Schroeder *et al.* 1987), âge et sexe du jardinier (INSEE, 1993), pratiques de jardinage (Crößmann et Wüsteman 1992; Schwartz 1993), catégorie socio-professionnelle du jardinier, types et parts relatives de production, climat et âge du jardin (Putegnât 2001). Parmi ces critères, deux sont indépendants du jardin : le milieu actuel et le climat. Ces facteurs seront retenus pour orienter le choix des sites d'échantillonnage au niveau national et permettre ainsi l'obtention de données à valeurs génériques.

---

<sup>1</sup> Caractérisation des Sols, des usages et des productions potagères dans les Jardins français.

Le but des travaux est de (i) contribuer à une meilleure connaissance de la qualité des sols de jardins sur le territoire français, (ii) de déterminer s'il existe plusieurs types de jardins et (iii) de situer les sols de jardins le long d'un gradient d'anthropisation.

Les sites de jardins familiaux échantillonnés sont localisés dans trois villes françaises, sous des climats contrastés : continental à influence océanique, océanique et méditerranéen respectivement à Nancy (et son agglomération), Nantes et Marseille. Les parcelles de jardins ont été sélectionnées au sein de 3 types d'environnements urbains : résidentiel, industriel et mixte - entre les deux premiers types. Pour chaque degré d'intensité d'urbanisation et pour chaque ville, au moins 10 sols de jardins ont été échantillonnés pour aboutir à une population de 100 jardins. Les analyses de terres de surface ont principalement permis de décrire deux types de caractéristiques : les paramètres agronomiques tels que les teneurs en nutriments (e.g. C, N, P) qui informent sur la fertilité des sols, et les concentrations en éléments en traces (e.g. Cd, Pb) qui informent sur le degré de contamination des sols. Les données sur les sols de jardins ont ensuite été comparées à 300 SUITMAS<sup>2</sup> (Lefort, 2009) ainsi que 2200 sols d'usages variés provenant du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) mis en place sur le territoire français.

Les caractéristiques physico-chimiques des jardins présentent une forte variabilité qui ne s'explique pas seulement par des différences de fonds géochimiques. Bien que contrastés, les sols de jardins présentent globalement des caractéristiques physico-chimiques différent des sols naturels ou des SUITMAS. En effet, leur niveau de fertilité les rapproche des sols agricoles tandis que leur niveau de contamination est plus proche des SUITMAS.

Les sols de jardins représentent donc un objet d'étude à part entière où il convient d'acquérir des connaissances, notamment en termes de fonctionnement biologique.

*Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (Programme Villes et Bâtiments Durables) pour le financement du projet JASSUR (ANR-12-VBDU-0011) et les partenaires locaux des communes du Grand Nancy, Nantes et Marseille. Toute notre gratitude va également à Alain Rakoto du LSE pour son très fort soutien technique. Le RMQS est un programme soutenu par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol ([www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)).*

- Chenot, E.-D., Douay, F., Dumat, C., Pernin, C., Pourrut, B. et Schwartz, C. (coord.), (2013) Jardins potagers : terres inconnues ? Les Ulis : EDP Sciences, 176 p.
- Crößmann, G. et Wüsteman, M. (1992) Belastungen in Haus- und Kleingärten durch anorganische und organische Stoffe mit Schadstoffpotential. Forschungsbericht 1160868. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 47 p.
- Dewaelheyns, V., Elsen, A., Vandendriessche, H. et Gulinck, H. (2013) Garden management and soil fertility in Flemish domestic gardens. *Landscape and Urban Planning*, 116, 25-35.
- Lefort Clemence (2009) Contribution à la définition et à la classification des Technosols, Thèse, 183p.
- McDonald, L.M. et Balasko, J.A. (2003) Temporal Trends in Ca, Mg and K Concentrations of Grassland and Garden Soils in West Virginia, U.S.A. between 1986 and 1999. *Water, Air, & Soil Pollution*, 146, 351-363.
- Morel, J.L. et Schwartz, C. (1999) Qualité et gestion des sols de jardins familiaux. *Comptes-rendus de l'académie d'Agriculture*, 85, 103-114.
- Morel, J.L., Schwartz, C. et Florentin, L. (2005) Urban soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 335, 202-208.
- Norra, S. et Stuben, D. (2003) Urban soils. *Journal of Soils and Sediments*, 3, 230-233.
- Putegnât, A. (2001) Les jardins familiaux : comment une innovation sociale peut engendrer des risques pour l'homme et l'environnement. *Annales des Mines - Responsabilité et Environnement*, 24, 83-90.
- Schroeder, W.H., Dobson, M., Kane, D.M. et Johnson, N.D. (1987) Toxic Trace Elements Associated with Airborne Particulate Matter: A Review. *JAPCA*, 37, 1267-1285.
- Schwartz, C. (1993) Facteurs de qualité des sols de jardins de l'est-mosellan. Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA), 44p.
- Schwartz, C., Chenot, E.-D., Pernin, C., Dumat, C., Pourrut, B. et Douay, F. (2010) Caractérisation des sols, des usages et des productions potagères dans les jardins français Tome 2 : Définitions, méthodes, approches statistiques et outils opérationnels pour l'acquisition de données. Rapport, 293 p.
- Schwartz, C. et Toutain, F. (1999) Sols forestiers et sols de jardins : modes de fonctionnement et qualité. *Sciences. Revue de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences* 99, 41-47.

<sup>2</sup> Soils in Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas

## Modélisation de la pédogenèse des Technosols

LEGUÉDOIS Sophie<sup>1,2</sup>, SÉRÉ Geoffroy<sup>2,1</sup>, AUCLERC Apolline<sup>2,1</sup>, OUVRARD Stéphanie<sup>1,2</sup>, WATTEAU Françoise<sup>3,2,1</sup>, SCHWARTZ Christophe<sup>2,1</sup>, MOREL Jean Louis<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120, Inra, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France, sophie.leguedois@univ-lorraine.fr, stephanie.ouvrard@univ-lorraine.fr

<sup>2</sup> : Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120, Université de Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France, geoffroy.sere@univ-lorraine.fr, apolline.auclerc@univ-lorraine.fr, christophe.schwartz@univ-lorraine.fr, jean-louis.morel@univ-lorraine.fr

<sup>3</sup> : UMS 3562, CNRS, 15 rue Notre-Dame des Pauvres, BP 20, 54501 Vandœuvre-les-Nancy, France, francoise.watteau@univ-lorraine.fr

### Introduction

L'Anthropocène est une époque qui se caractérise à la fois par la forte pression que les activités humaines exercent sur les sols mais, également, par les attentes de plus en plus marquées de la société vis-à-vis de ces milieux. Dans ce cadre, la modélisation quantitative de la pédogenèse est un outil qui reste à développer pour mieux relever les défis de cette nouvelle ère et évaluer l'évolution future des sols ainsi que des services écosystémiques associés.

Pour développer un tel outil, nous proposons de nous appuyer sur un type de sol modèle, les Technosols. Ce choix est guidé par les raisons suivantes : (i) les Technosols sont caractéristiques de l'Anthropocène ; (ii) de hauts niveaux de services écosystémiques sont attendus de ces sols (Morel *et al.*, 2014) ; (iii) les processus pédogénétiques observés dans les Technosols sont similaires à ceux de sols naturels (Huot *et al.*, 2013, Séré *et al.*, 2010) ; (iv) il s'agit de sols dont la connaissance de l'évolution est requise pour gérer au mieux et de manière pérenne les espaces urbains, périurbains et industriels.

L'objectif de cette communication est ainsi de proposer et d'éprouver une trame générale de modélisation de la pédogenèse des Technosols.

### Matériel et méthodes

La trame générale de modélisation a été construite à partir d'une synthèse bibliographique de la littérature sur l'évolution des sols ainsi que d'une analyse d'une quinzaine de modèles quantitatifs existants. Cette trame a ensuite été confrontée à une base de données sur l'évolution de Technosols construits (suivis pluri-annuels des paramètres physico-chimiques, faunistiques, floristiques, microbiologiques et hydrologiques). La construction de Technosol est une technique de réhabilitation et de création de sols (Séré *et al.*, 2008). Au-delà de la disponibilité des données sur leur pédogenèse, les Technosols construits constituent un modèle expérimental particulièrement adéquat pour l'étude de la pédogenèse du fait de leur évolution rapide et du contrôle des conditions initiales facilement reproductibles.

### Résultats

La modélisation de la pédogenèse des Technosols peut être aisément développée à partir du couplage des nombreux modèles de processus déjà existants du fait des similarités observées dans les mécanismes d'évolution de ces sols et de sols plus naturels. Néanmoins les modèles existants s'attachent majoritairement aux processus en lien avec la réactivité chimique et le transfert hydrique. Or, il a été observé que les Technosols construits connaissent une évolution significative et rapide de leur architecture porale du fait, à la fois, d'un tassement des matériaux, du développement racinaire, de l'exploration par les

organismes du sol, mais aussi de processus d'altération/dissolution des phases minérales (Séré *et al.*, 2012). Ainsi, afin de décrire l'ensemble d'une chronoséquence évolutive, il est nécessaire d'intégrer une plus large gamme de processus et de développer plus particulièrement des modèles sur les interactions entre structure des sols et activités biologiques (végétation, faune, microbiologie). Il est également nécessaire d'adapter les modèles de réactivité chimique existants afin d'intégrer les constituants technogéniques, comme les métaux ou les matières organiques anthropiques, qui peuvent significativement affecter l'intensité et la succession des processus pédogénétiques (p. ex. Leguédois *et al.*, 2004).

Une autre difficulté posée par une approche multi-processus est la complexité des données utilisées et des modèles développés. Plus particulièrement, il faut pouvoir caractériser et quantifier l'impact, sur l'évolution des sols, des nombreux facteurs et de leurs interactions. Il a déjà été suggéré par plusieurs auteurs d'utiliser l'énergie comme unité de base pour quantifier les facteurs pédogénétiques. Nous présenterons les premiers résultats du calcul d'une énergie effective (*Effective Energy and Mass Transfer*, Rasmussen *et al.*, 2005) pour quantifier l'effet des variables climatiques et biologiques (végétation) sur l'évolution des Technosols construits.

Une attente forte de l'Anthropocène est de pouvoir caractériser les évolutions en termes de services écosystémiques. Cela nécessite, d'une part, le développement de variables de sorties des modèles qui soient analysables en ce sens et, d'autre part, l'intégration, dans les modèles, d'une double échelle temporelle, à savoir le temps rapide du fonctionnement, caractéristique des services et le temps décennal de l'évolution des sols.

D'un point de vue technique, une telle approche de modélisation peut s'appuyer sur les plateformes de couplage telles que Sol Virtuel ou Record. Au vu de la nature et de la diversité des processus concernés, il est néanmoins indispensable que ces plateformes permettent d'associer des modèles aux formalismes variés et intègrent une représentation explicite multi-échelle de l'hétérogénéité spatiale du profil de sol.

### Conclusion et perspectives

Nous proposons dans ce travail une trame de modélisation de la pédogenèse adaptée aux Technosols qui s'appuie sur une approche multi-processus et énergétique. Au-delà de l'intérêt de cette trame pour l'évaluation de la durabilité des Technosols construits, une telle modélisation sera utile pour la modélisation de la pédogenèse des sols sous l'Anthropocène.

### Références bibliographiques

Huot H, Simonnot M-O, Marion P, Yvon J, De Donato P, Morel JL. 2013. Characteristics and potential pedogenetic processes of a Technosol developing on iron industry deposits. *J. Soils Sediments*, 13:555-568.

Leguédois S, Jongmans T, Chevallier P, van Oort F. 2004. Morphology, chemistry and distribution of neoformed spherulites in agricultural land affected by metallurgical point-source pollution. *Environ. Pollut.*, 130:135-148.

Morel JL, Séré G, Auclerc A, Schwartz C, Leguédois S, Watteau F. 2014. Les sols de l'environnement urbain : caractéristiques, services et problèmes liés à leur étude. *Conférence invitée, congrès annuel Soc. Suisse Pédologie*, Changins, 13-14/02/2014.

Rasmussen C, Southard R J, Horwath W R. 2005. Modeling energy inputs to predict pedogenic environments using regional environmental databases. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 1266-1274

Séré G, Ouvrard S, Magnenet V, Pey B, Morel JL, Schwartz C. 2012. Predictability of the evolution of the soil structure using water flow modeling for a constructed Technosol. *Vadose Zone J.*, 11.

Séré G, Schwartz C, Ouvrard S, Renat J-C, Watteau F, Villemin G, Morel, JL. 2010. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. *J. Soils Sediments*, 10:1246-1254.

Séré G, Schwartz C, Ouvrard S, Sauvage C, Renat J-C, Morel JL. 2008. Soil construction: A step for ecological reclamation of derelict lands. *J. Soils Sediments*, 8:130-136.

## **Effets de l'apport initial de terre végétale et de l'âge des sols urbains sur les vers de terre**

**VERGNES Alan<sup>1,2</sup>, DUBS Florence<sup>1</sup>, MURATET Audrey<sup>3</sup> LERCH Thomas<sup>1</sup> et BLOUIN Manuel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : UMR 7618 Institut d'Ecologie et des Sciences Environnementales de Paris (IEES-Paris), Equipe BIODIS (Biogéographie et Diversité des Interactions dans les Sols). Université Paris-Est Créteil, 61 Avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil. alan.vergnes@gmail.com, florence.dubs@ird.fr, thomas.lerch@u-pec.fr, blouin@u-pec.fr

<sup>2</sup> : UMR 7204 Centre d'Ecologie et de Sciences de la Conservation (CESCO) 55, Muséum National d'Histoire Naturelle, 55 rue Buffon 75005 Paris

<sup>3</sup> : Observatoire Départemental de la Biodiversité Urbaine (ODBU), Conseil Général de la Seine-Saint-Denis

Les surfaces recouvertes par des villes sont en augmentation et devraient recouvrir 7 % des terres émergées d'ici 2030. Dans ces paysages urbains dominés par les bâtiments et les routes, les espaces verts sont parmi les rares zones disposant d'un sol non imperméabilisées. La majorité de leurs sols ont été mis en place, à des époques différentes et à partir des constituants initiaux différents. Ils sont constitués de remblais comportant dans certains cas de la terre végétale. Les sols des espaces verts sont soumis aux contraintes urbaines telles que la pollution par les métaux ou la compaction par le piétinement des usagers. Ils sont également isolés au sein d'une matrice paysagère constituée de bâtiments et de route. Bien que des avancées aient été réalisées sur la description des propriétés physico-chimique des sols des espaces verts, la composante vivante de ces sols ou biodiversité reste très mal connue. La réponse des organismes du sol aux propriétés quasi-inédites des sols urbains n'a été que peu étudiée.

Les vers de terre (Annélides Oligochètes) sont parmi les organismes plus importants dans le fonctionnement du sol. Organismes ingénieurs de l'écosystème, ils modifient profondément les propriétés du sol et participent à la pédogénèse et modulent la minéralisation de la matière organique. Ces fonctions peuvent déboucher sur des services écosystémiques particulièrement utiles en villes : décompaction du sol limitant l'érosion hydrique, stockage de carbone dans le sol limitant l'émission de gaz à effet de serre par les villes... Dans ces sols urbains, des études précédentes ont mis en évidence l'importance de l'âge depuis la mise en place des sols sur les communautés de vers de terre. La mise en place de nouveaux sols implique des travaux lourds (tassement très important par des machines, déplacement de matériaux ne contenant pas de vers de terre), en conséquence les vers de terre sont très peu présents sur les sols récemment mis en place. Les parcelles doivent être recolonisées par des organismes provenant d'habitats adjacents. Plus les sols sont anciens, plus les organismes ont disposé de temps pour effectuer cette recolonisation. Toutefois, l'importance des conditions initiales, et notamment de l'apport initial de terre végétal lors de la mise en place de ces sols, n'a jamais été investiguée. Cet apport de ressources pour les vers de terre pourrait accélérer la cinétique d'installation des espèces et à moyen terme, il pourrait modifier la composition des communautés de vers de terre.

Les objectifs de cette étude sont :

- (1) d'identifier les espèces de vers de terre présentes dans les sols des espaces verts,
- (2) d'analyser l'importance des déterminants environnementaux sur les communautés de vers de terre et notamment de l'âge de mise en place du sol et ces conditions initiales.

Afin de répondre à ces questions, 19 parcelles, localisées dans des parcs des départements très urbanisés de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne, ont été



échantillonnées au printemps 2013. Ces parcelles sont toutes des pelouses (strate herbacée et espèces essentiellement plantées) mises en place sur d'anciennes parcelles agricoles. Elles ont été sélectionnées suivant l'âge de mise en place du sol (de 2 à plus de 65 ans) et des conditions initiales (apport initial de terre végétal ou non).

Les vers de terre ont été échantillonnés selon la méthode du TSBF modifié (Tropical Soil Biology Fertility) dans cinq quadrats par parcelle. Soit un total de 100 prélèvements. Les propriétés physico-chimiques de ces sols ont été analysées avec la même pression d'échantillonnage et concernent la teneur en matière organique, en  $P_2O_5$ , en  $K_2O$  et 5 éléments traces métalliques (Cadmium, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc). Les pratiques de gestion des sols ont été renseignées à l'aide de questionnaires. La proportion d'habitats potentiels dans un rayon de 300 m autour des parcelles a été mesurée à partir d'images satellites Landsat 7 et d'un SIG.

A l'aide d'analyses univariées, nous avons étudié la réponse de la richesse spécifique (nombre d'espèces par parcelle) et de l'abondance (nombre d'individus par parcelle) pour l'ensemble des vers de terre puis suivant les trois catégories écologiques : épigées, anéciques et endogées. Des analyses multivariées ont été menées sur la composition des communautés en espèces et en traits.

Nous avons récolté 579 individus dont 240 adultes appartenant à 17 espèces. La majorité des espèces récoltées sont communes, c'est-à-dire qu'elles sont présentes dans une grande variété d'habitats, notamment les habitats herbacés. Certaines d'entre elles comme *Allolobophora chlorotica*, *Apporectodea caliginiosa*, *Apporectodea rosea*, *Lumbricus terrestris* et *Lumbricus castaneus*, ont été récoltées dans toutes les autres études menées sur les sols des espaces verts.

Nous avons mis en évidence un effet significatif de l'interaction entre l'âge de mise en place du sol et de l'apport initial de terre végétal sur la richesse spécifique et l'abondance des vers de terre. Quand l'âge augmente, la richesse spécifique et l'abondance diminuent dans les parcelles sans apport initial de terre végétale alors qu'elles augmentent dans les parcelles avec apport initial de terre végétale. Cet effet est plus marqué pour les catégories écologiques anécique et épigé qu'endogé. Les analyses multivariées ont mis en évidence l'importance des conditions initiales du sol et de son âge dans la structuration des communautés, que ce soit pour les espèces (par ex. *L. terrestris* est associé aux anciennes parcelles avec apport initial de terre végétale) ou suivant les traits fonctionnels (les parcelles avec apport de terre végétale sont dominées par des individus grands et saprophages). Pourtant, les caractéristiques physico-chimiques et l'aspect des sols avec et sans terre végétale ne diffèrent pas de façon significative. Les conditions initiales, ici l'apport de terre végétale, ont un impact fort sur la dynamique temporelle de la communauté des organismes du sol, qui perdure alors que les propriétés physico-chimiques du sol ont déjà convergées. Des conditions initiales différentes pourraient donc provoquer une divergence des communautés, ici les vers de terre, qui ira en s'intensifiant au cours du temps. Ainsi, les pratiques de gestion comme l'apport de terre végétale sont déterminantes pour interpréter la dynamique des communautés aboutissant à la biodiversité urbaine actuellement observée.

Globalement, les variables physico-chimiques étudiées n'ont montré que peu d'effets sur les vers de terre, y compris les éléments traces métalliques parfois abondants. Par contre, l'importance du couvert végétal autour des parcelles a un effet positif sur l'abondance et la richesse spécifique ce qui montre l'importance de la quantité de zones adjacentes favorables dans la recolonisation des sols des espaces verts.

Ces observations inédites sur le fonctionnement des communautés de vers de terre dans un contexte urbain, témoignent de l'importance des pratiques des gestionnaires d'espaces verts dans la structuration de la biodiversité urbaine. La prise en compte de ces observations dans la gestion des espaces verts pourrait permettre d'améliorer la qualité des communautés de vers de terre et les services qu'ils fournissent.

## Dynamique de la structure d'un Technosol construit sous l'impact de facteurs biologiques, plante et macrofaune

WATTEAU Françoise<sup>1,2</sup>, JANGORZO Nouhou Salifou<sup>1</sup>,  
HAJOS Dorian<sup>1</sup>, SCHWARTZ Christophe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire Sols et Environnement (LSE), UMR INRA 1120, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France, [francoise.watteau@univ-lorraine.fr](mailto:francoise.watteau@univ-lorraine.fr); [nouhou.jangorzo@yahoo.fr](mailto:nouhou.jangorzo@yahoo.fr); [christophe.schwartz@univ-lorraine.fr](mailto:christophe.schwartz@univ-lorraine.fr);

<sup>2</sup> : UMS CNRS 3562, 15 rue Notre-Dame des Pauvres BP 20, F-54501 Vandœuvre-lès-Nancy, France.

### Introduction

Evaluer la dynamique de la structure des sols est un challenge important dans un objectif de modélisation de leur pédogenèse. De plus, parmi les facteurs pédogénétiques, les agents biologiques sont reconnus comme ayant un rôle important dans le fonctionnement et l'évolution des sols (Six *et al.*, 2004). Notre objectif a donc consisté à suivre *in situ* l'effet d'agents biologiques sur la structure d'un sol, en rendant possible la visualisation et la quantification de l'impact de vers de terre sur la porosité et l'agrégation de la rhizosphère d'un Technosol construit. Ce Technosol est, par définition, considéré comme un bon candidat à la modélisation de la pédogenèse, dans la mesure où ses caractéristiques initiales, formulation et conditions de mise en place, sont maîtrisées (Séré *et al.*, 2008). Via la mise au point d'un dispositif innovant, SOILINSIGHT<sup>®</sup>, nous avons suivi pendant un an le développement du système racinaire d'une légumineuse, le lupin, au sein d'un technosol construit, en présence de vers de terre. Au cours du cycle végétatif, les variations du système poral et de paramètres descriptifs de l'agrégation du Technosol construit ont été évaluées qualitativement et quantitativement.

### Matériels et méthodes

Le Technosol construit est constitué de 3 couches disposées dans un cosme (3,6 L) avec du bas vers le haut 1) des graviers assurant le drainage du sol, 2) un sol industriel issu d'une ancienne cokerie et traité thermiquement en mélange avec des boues de papeteries (proportion 2/3, 1/3 en masse) et 3) du compost de déchets verts. Trois modalités sont étudiées et répétées trois fois : « modalité plante » où 5 plants de lupin (*Lupinus albus*) sont mises à germer, « modalité plante + faune » où 6 vers de terre adultes (*Lumbricus castaneus*) ont été ajoutés après 70 jours de développement des lupins, « modalité témoin » sans plante ni macro-faune. Une humidité de 60 à 80% de la capacité au champ est maintenue dans toutes les modalités.

Les cosmes sont reliés à un système d'acquisition d'images, SOILINSIGHT<sup>®</sup>, permettant de stocker automatiquement sur une période de 12 mois, des images haute définition du sol contenu dans les cosmes. Des analyses d'images sont réalisées à différentes périodes de l'expérimentation afin de quantifier la proportion de pores et d'agrégats du système au cours du temps selon des protocoles spécifiquement établis (Jangorzo *et al.*, 2013a, 2013b). De même le volume occupé par les racines, ainsi que le nombre d'actions des vers (creusement de galeries, rebouchage des galeries, passage dans un pore) sont évaluées.

### Résultats

Les conditions de culture ont permis le développement des plantes et la survie des vers de terre, aboutissant ainsi à la formation d'un écosystème rhizosphérique. Le dispositif utilisé a permis de visualiser l'architecture du système racinaire, la formation de nodules, le déplacement des vers, l'éclosion de juvéniles (Fig. 1). Pendant les 3 premières semaines, les racines croissent à une vitesse journalière de 10 mm. La croissance racinaire est ensuite exponentielle, avant de se stabiliser (140 j) et décroître lors de la senescence des racines. Les vers prospectent tout d'abord la couche de compost, avant d'explorer les couches inférieures du sol en se déplaçant préférentiellement le long de racines et entraînant ainsi des particules de compost vers le bas. A 208 jours, 35% du cosme avait été prospecté par les vers avec une activité préférentielle dans le tiers supérieur du cosme et dans une moindre mesure le long des racines verticales (Fig.1).

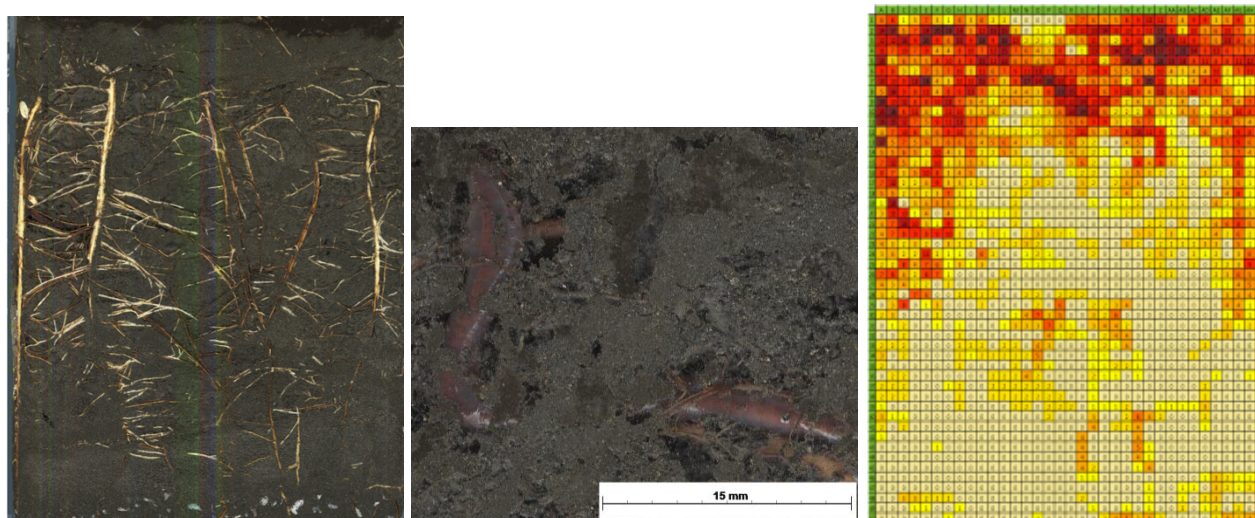


Figure 1 : Vue d'ensemble de la surface de sol analysée d'un cosme (21x30 cm), zoom sur vers et racines, représentation graphique des actions des vers sur un cosme comptabilisées à 208 j d'expérimentation (gradient de couleur allant de 1 à 20 actions) ; 1 action correspondant à un creusement de galerie, un simple passage du ver ou un rebouchage de galerie.

Si l'irrigation des cosmes est responsable d'une légère diminution de la porosité totale, la modalité « plante + faune » présente en fin d'expérience une porosité totale 10 fois plus élevée comparativement au témoin. De même la proportion d'agrégats est significativement plus élevée dans la modalité « plante + faune » et ce, dès les premiers jours en raison de la croissance du système racinaire. Après introduction des vers, la dynamique de l'agrégation est irrégulière dans la mesure où la proportion d'agrégats augmente ou diminue en fonction des actions de creusement et de rebouchage des galeries par les vers. En fin d'expérimentation, la proportion d'agrégats dans la modalité « plante + faune » reste toutefois significativement supérieure à celle du témoin (Jangorzo, 2013). Ces résultats seront également discutés en comparaison à des données acquises lors d'une expérimentation de terrain impliquant ce même sol.

### Conclusion et perspectives

L'expérimentation menée souligne, quantification des processus à l'appui, l'impact de l'activité biologique rhizosphérique sur la structure du Technosol construit et permet de hiérarchiser des facteurs pédogénétiques en fonction de leur intensité, en lien avec les stades de développement de la plante. L'ensemble des résultats constitue un jeu de données intégrables dans une reconstitution virtuelle de la structure des sols (cf. Ameur *et al.*, résumé JNS 2014).

### Références

- Jangorzo N.S., 2013. Quantification du processus d'agrégation dans les Technosols. Thèse, Université de Lorraine, 187 p.
- Jangorzo N.S., Watteau F. and Schwartz C., 2013a. Evolution of the pore structure of Technosols during early pedogenesis quantified by image analysis. *Geoderma*, 207-208, 180-192.
- Jangorzo N.S., Schwartz C. and Watteau F., 2013b. Image analysis of soil thin sections for a non-destructive quantification of aggregation in the early stages of pedogenesis. *EJSS* doi: 10.1111/ejss.12110.
- Séré, G., Schwartz, C., Ouvrard, S., Sauvage, C., Renat, J.-C. & Morel, J. L., 2008. *Soil construction: a step for ecological reclamation of derelict lands*, *JSS* 8, 130-136.
- Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K, 2004. *A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics*. *Soil Tillage Res* 24.

## **PEDOGENESE DE DIFFERENTS TECHNOSOLS MINIERES: VERS UNE MEILLEURE COMPREHENSION**

Grégoire PASCAUD, Marilyne SOUBRAND, Marion RABIET, Emmanuel JOUSSEIN

<sup>a</sup> Université de Limoges, FST, GRESE "Groupement de Recherche Eau Sol Environnement", EA 4330, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges, France.

*e-mail: [gregoire.pascaud@etu.unilim.fr](mailto:gregoire.pascaud@etu.unilim.fr)*

Mots clés: Technosols miniers, pédogénèse, métaux et métalloïdes, Impact environnemental

Les technosols sont des sols soumis à une forte pression anthropique et particulièrement ceux influencés par des matériaux détritiques d'origine humaine. A cette définition s'appliquent les sols développés sur les sites miniers et contenant de par leur nature de fortes quantités de matériaux transformés par l'Homme et de surcroît souvent très contaminés. Paradoxalement, le fait que ces derniers soient contaminés par des métaux et métalloïdes ne semblent pas affecter le développement naturel des sols. En revanche l'apport de matière organique issue de la pédogénèse peut provoquer d'éventuels changements concernant le comportement des contaminants. Il est évident que les paramètres microclimatiques et physico-chimiques des milieux soient à l'origine de différents types d'évolution des sols. Ces divergences d'évolution rendent difficile l'anticipation concernant le relargage potentiel des métaux et métalloïdes vers la biosphère. Ainsi, seul l'approfondissement des connaissances globales sur la pédogénèse des technosols miniers permettront d'améliorer les propriétés, de réduire leur impact environnemental et/ou de revaloriser les parcelles concernées.

Il est donc nécessaire d'identifier les processus pédogénétiques à l'origine de l'évolution de ces types de sols à différentes échelles de temps et pour différents contextes physico-chimiques. Dans un objectif d'une généralisation, 6 différents profils de sols ont été prélevés selon les types d'exploitations (respectivement Au, Sn, W, Pb/Ag) et selon l'âge estimé des solums. Les paramètres pédologiques courants ont été déterminés tels que le pH, la CEC, le Corg, la composition granulométrie, ainsi que la composition chimique. La nature ainsi que la stabilité des phases minérales ont été abordées par l'approche physique (DRX, MEB-EDS) et chimique (extraction sélectives, séquentielles).

Les résultats correspondant permettent d'avoir une vision générale sur les débuts de la pédogénèse en balayant des solums dont les âges varient de 35 à 120 ans. Ces sols ne semblent pas évoluer de la même façon, cependant certains indicateurs comme les extractions sélectives, la granulométrie et l'incorporation des matières organiques laissent penser que l'évolution est fonction du type de matériaux parental et qu'elle se rapproche de sols bien connus. Le devenir et le comportement des métaux et métalloïdes restent toutefois très différents de par la diversité des phases porteuses du matériel parental. Les relations entre l'évolution des solums étudiés, leurs spécificités physiques et chimiques seront discutées en regard des connaissances actuelles concernant l'évolution connue de leurs solum-concepts de rattachement.

## **PEDOGENESE DE TECHNOSOLS MINIERES: L'IMPLICATION DE LA MATIERE ORGANIQUE**

Grégoire Pascaud<sup>a</sup>, Marilyne Soubrand<sup>a</sup>, Laurent Lemée<sup>b</sup>, Joëlle Laduranty<sup>b</sup>, Amelène El-Mufleh Al Hussein<sup>b</sup>, Marion Rabiet<sup>a</sup>, Emmanuel Joussein<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Université de Limoges, FST, GRESE Groupement de Recherche Eau Sol Environnement, EA 4330, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges, France

<sup>b</sup>Université de Poitiers - CNRS UMR 7285 (IC2MP), 4 rue Michel Brunet, 86073 Poitiers Cedex 9, France

*e-mail: gregoire.pascaud@etu.unilim.fr*

Mots clés: Technosols miniers, pédogénèse, matière organique, Impact environnemental, pyrolyse-GC-MS

Les technosols font partie de la catégorie des anthroposols constitués de matériaux d'origine technique. Suite à l'abandon des exploitations minières, les sols naturellement développés sur ces sites sont enclins à contenir de grandes quantités de matériaux détritiques d'origine technique et fortement contaminés en éléments métalliques et métalloïdes. La pédogénèse de ces types de sols dépend incontestablement des facteurs environnementaux tels que le pH, les conditions d'oxydoréduction, la perméabilité, le climat, la topographie ainsi que de la végétation et la matière organique associée. Cependant dans ce contexte précis certaines conditions peuvent être qualifiées d'extrêmes telles que le pH souvent très faible ainsi que des teneurs en éléments métalliques ou métalloïdes de l'ordre du pourcent. Même si la couverture pédologique formée stabilise physiquement les déchets vis-à-vis de l'érosion hydrique et éolienne, il se peut que cette dernière induise des changements de spéciation provoquant le relargage des contaminants inorganiques. Par voie de conséquence une contamination directe ou indirecte de la biosphère est alors probable. Ces caractéristiques limitent grandement les utilisations potentielles des parcelles concernées et leur nombre est d'autant plus important que leur implantation se trouve souvent dans les abords proches voir directement au contact des populations. Cette contamination initiale du matériau parental suggère donc de prendre en considération la stabilité des phases porteuses des contaminants. Ainsi, la compréhension de la pédogénèse dans ce contexte bien particulier permettra de mieux appréhender la remédiation et/ou le cas échéant, la revalorisation des parcelles.

L'objectif principal de cette étude correspond à la compréhension de la pédogénèse et plus particulièrement à l'implication de la matière organique naturelle. En effet la dégradation de cette dernière suppose la libération de nombreux composés jouant un rôle prépondérant dans la différenciation du sol mais aussi dans le transport ou l'immobilisation des métaux et métalloïdes.

Pour cela, trois différents profils de sols ont été prélevés selon l'âge estimé des solums ainsi que leur type de contamination. Les trois profils choisis correspondent respectivement à des sols développés sur d'anciennes exploitations d'étain, d'or et de plomb/argent. Les paramètres pédologiques courants tels que CEC, pH, %Corg, %Ntot, rapport C/N, la composition granulométrique et la composition chimique des

différents profils ont été mesurés. La distribution de la concentration en carbone organique et en azote total dans les différentes fractions granulométriques sera aussi déterminée. La composition et la caractérisation de la matière organique de chacun des horizons de sol ont été étudiées par thermochimiolysse d'abord sur la fraction totale puis sur la fraction lipidique.

La composition ainsi que les concentrations des composés organiques varient selon la profondeur et le type de site. Les thermochimiolyses permettent aussi d'établir l'origine des composés, certaines molécules sont ubiquistes, alors que d'autres sont plus spécifiques de l'activité microbienne ou de la végétation en présence. Ces résultats nous ont permis d'établir les similarités entre les sols de type minier et les sols non-anthropisés. Cependant il semble que la matière organique présente certaines particularités indiquant que le fonctionnement général du sol est lui-même affecté par les spécificités imputées aux technosols miniers. Les relations entre la structure de la matière organique et le cortège minéral minier seront discutées en regard des connaissances actuelles concernant la formation des sols.

## **Contamination et origine du plomb des sols en contexte péri-urbain : ce que nous apporte l'isotopie**

**QUANTIN Cécile<sup>1</sup>, COULON Aurélia<sup>1</sup>, MAGNIER Paul-Eric<sup>1</sup>, MONVOISIN Gael<sup>1</sup>, DURAND Véronique<sup>1</sup>, EVRARD Olivier<sup>2</sup>, AYRAULT Sophie<sup>2</sup>**

1 : UMR 8148 IDES, Univ. Paris Sud – CNRS, bât. 504, 91405 Orsay Cedex, [cecile.quantin@u-psud.fr](mailto:cecile.quantin@u-psud.fr)

2 : UMR 8212 LSCE, CEA – CNRS – UVSQ, bât. 12, 91198 Gif-sur-Yvette,

Le plomb (Pb) est l'un des principaux et plus anciens polluants d'origine anthropique et sa signature isotopique s'avère être un outil de choix pour évaluer la contribution relative de ses différentes sources/origines. Les concentrations en Pb ainsi que sa signature isotopique ont été étudiées dans les sols du bassin versant de l'Orge, affluent de la Seine, présentant un contraste fort d'occupation des sols : forestier et agricole en amont, très urbanisé en aval (Le Pape et al., 2012), dans le but de définir l'origine et la rémanence de la pollution.

Pour cela, près de 40 sols ont été échantillonnés sur l'ensemble du bassin versant (950 km<sup>2</sup>) en fonction de leur nature (sols hydromorphes, sols brunifiés, sols lessivés, sols podzoliques et podzols) et de leur occupation (forêt, agriculture, urbain). Cet échantillonnage a été complété par des sols prélevés le long d'un transect perpendiculaire à l'autoroute A6, au niveau de Gravigny (environ 170 000 véhicules/j), pour renforcer les données sur l'impact de l'activité anthropique, ici routière. Les horizons A (ou L) et C des sols ont été caractérisés (pH, CEC, éléments totaux dont Pb) et des mesures isotopiques <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb réalisées sur l'ensemble des échantillons.

Le plomb est le principal contaminant métallique d'origine anthropique (1q-317 mg/kg), suivi de Zn (2-114 mg/kg) et Cu (5-50 mg/kg). Le chrome et le nickel, qui sont fortement corrélés aux éléments majeurs issus des roches mères, semblent majoritairement issus du fond géochimique comme montré par Le Pape et al. (2012) dans l'Orge.

Le rapport <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb des différents échantillons indique clairement que la source principale de Pb est un mélange de Pb issu des carburants et de Pb urbain dans les horizons de surface alors que pour les horizons profonds, l'origine est naturelle, proche de la signature du fond géochimique régional (Elbaz-Poulichet et al., 1986). La contamination des sols par l'activité routière et donc la contribution du Pb « essence » sont particulièrement visibles le long du transect perpendiculaire à l'A6 (figure 1).



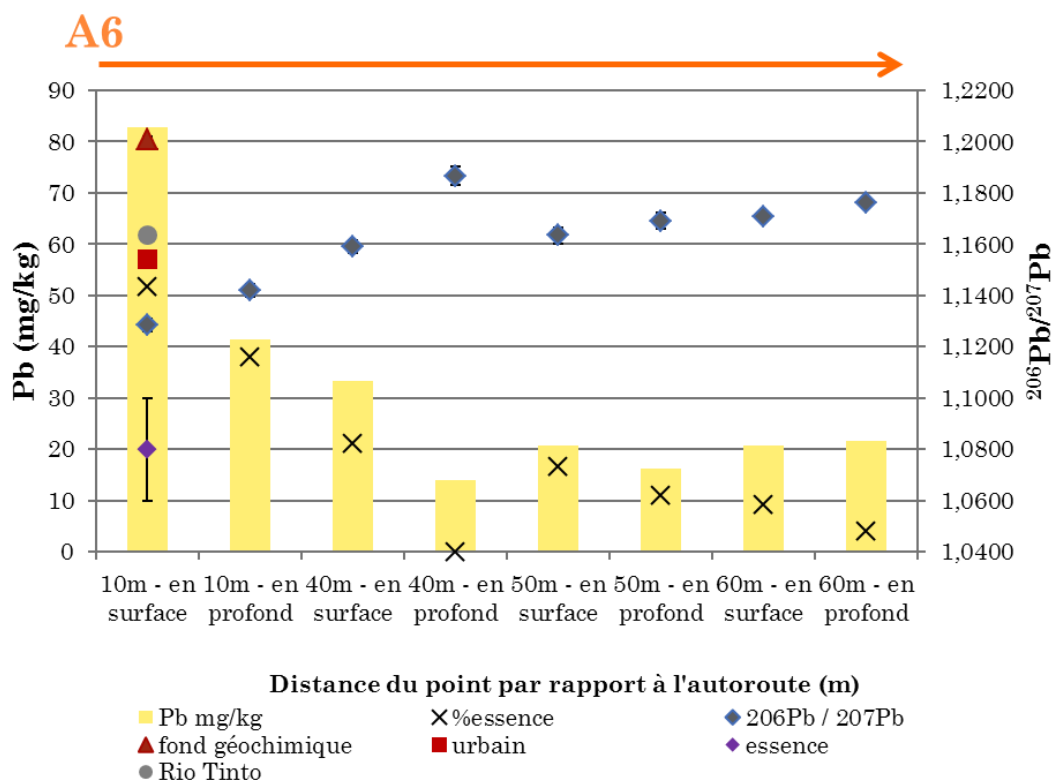


Figure 1. Concentration en Pb et rapport  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  dans les horizons A et C à 10, 40, 50 et 60 m de l'A6 (Gravigny, Essonne)

La contribution des sols à la contamination des eaux de l'Orge ainsi que le temps de transfert seront étudiés prochainement par l'utilisation des radionucléides  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{137}\text{Cs}$ .

## Références

Elbaz-Poulichet, F., Holliger, P., Martin, J.M., Petit, D., 1986. Stable lead isotopes ratios in major French rivers and estuaries. *Science of the Total Environment* 54, 61–76.

Le Pape P., Ayrault S., Michelot J.-L., Monvoisin G. Noret A., Quantin C., 2013. Building an isotopic hydrogeochemical indicator of anthropogenic pressure on urban rivers. *Chemical Geology*, 344, 63-72

## Remerciements

Ce travail a reçu le soutien du PIREN-Seine, du PRES UniverSud et de l'INSU (projet EC2CO).



## Distribution des métaux et métalloïdes dans des profils de sols du massif des Calanques le long d'un gradient de pollution

KELLER Catherine<sup>1</sup>, AMBROSI Jean-Paul<sup>1</sup>, CRIQUET Stéven<sup>2</sup>, IDRAC Alexia<sup>1</sup>  
GUILLAMOT Frédérique<sup>2</sup>, MASSE Jean-Pierre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, Collège de France, IRD, CEREGE, UMR 7330, Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée, BP 80, 13545 Aix-en-Pce, Cedex 4 ; [keller@cerège.fr](mailto:keller@cerège.fr), [ambrosi@cerège.fr](mailto:ambrosi@cerège.fr), [masse@cerège.fr](mailto:masse@cerège.fr)

<sup>2</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, IMBE, UMR 7263, case 452, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, UPCAM, 13397 Marseille, Cedex 20 ; [steven.criquet@imbe.fr](mailto:steven.criquet@imbe.fr)

Aux portes de Marseille, le massif de Marseilleveyre, inclus dans le Parc National des Calanques, comporte des écosystèmes littoraux riches d'une flore rare et remarquable mais soumis à de nombreuses pollutions d'origine anthropique. Les sources de contamination organique et/ou inorganique sont à la fois d'origine terrestre (anciens sites métallurgiques) et maritime via les émissaires en mer et le transport qui affectent aussi bien le compartiment marin (eau, sédiment) que terrestre (sol, biocénose). Cette zone est également très fréquentée (habitations et tourisme). Le projet MARSECO (ANR-CESA-018-06) s'est proposé d'étudier, dans sa globalité, la pollution des divers compartiments en fonction de leur nature (métaux, métalloïdes et polluants organiques), les effets sur les micro-organismes et la phytocénose dans une vision intégrative. Le volet « sol » s'est intéressé plus particulièrement à l'impact de l'apport d'éléments en traces métalliques et métalloïdes (ETMM) aux sols depuis une ancienne fonderie de Pb aujourd'hui en friche (site de l'Escalette). En particulier nous avons voulu répondre aux questions suivantes.

- Peut-on mettre en évidence un gradient de contamination lié aux activités industrielles passées ?
- Le gradient de contamination influence-t-il la répartition des ETMM dans les sols ?
- La pédogénèse est-elle responsable des profils de concentrations observés et quelle est la contribution du bruit de fond pédogéochimique ?
- Quelle est la mobilité des ETMM dans les profils de sols ?
- Quelles sont les répercussions d'un gradient de contamination sur la structuration des communautés microbiennes et l'expression de leurs activités de recyclage des bioéléments CNPS ?

Pour ce faire nous avons choisi après un inventaire préalable 6 placettes avec des sols similaires (colluviosols) et une placette proche de l'un des sols précédents mais avec un type de sol différent (lithosol). L'échantillonnage en surface a été réalisé selon un protocole standardisé (4 carrés de 1 m<sup>2</sup> par placette prélevés sur 5 cm d'épaisseur), le profil a été échantillonné selon les horizons. Les roches en place ont été également échantillonnées. Une caractérisation physico-chimique, des extractions séquentielles et un fractionnement physique de ces échantillons ont été effectués. Enfin, le compartiment microbien a fait l'objet d'une batterie d'analyses incluant d'activités enzymatiques de minéralisation de la MOS et des mesures de biomasses bactériennes (hétérotrophes, métallorésistantes, etc.)

Nous avons montré que 1) le niveau de contamination des sols est corrélé à la distance à l'Escalette, 2) il existe une grande variabilité spatiale et en profondeur des teneurs en ETMM ; 3) le type de sol et les caractéristiques physico-chimiques associées tendent à induire des transferts en profondeur des ETMM, que ce soit sous forme soluble ou particulaire ; 4) le colluvionnement, très important dans le massif, accroît l'épaisseur de sol impacté par la contamination et ainsi le volume contaminé potentiellement prospecté par les racines ; 5) la fraction organique fixe contribue au recyclage des ETMM ; 6) La structuration des différentes communautés microbiennes est modifiée en fonction de la distance à la

friche, se traduisant par des gradients de biomasses de bactéries métallorésistantes et de bactéries arsénio-oxydantes ; 7) l'adaptation des communautés microbiennes aux métaux se traduit par un état de résilience permettant le maintien de la diversité fonctionnelle microbienne et des activités minéralisatrices le long du gradient de contamination. Cependant, afin d'évaluer la mobilité réelle des ETMM dans ces profils, la part des retombées actuelles (autres sources de pollution et envols depuis la friche), le recyclage par la végétation et la contribution des apports par colluvionnement doivent encore être estimés.

## **Biodisponibilité des métaux dans des sols contaminés *in situ* : Apport de la compartimentation des métaux dans les vers de terre**

**BEAUMELLE Léa<sup>1</sup>, GIMBERT Frédéric<sup>2</sup>, GUERIN Annie<sup>3</sup>, HEDDE Mickaël<sup>1</sup>,  
LAMY Isabelle<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: INRA, UR 251 PESSAC: Physico-chimie et Ecotoxicologie des Sols  
d'Agrosystèmes Contaminés, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France,  
lea.beaumelle@versailles.inra.fr, mhedde.@versailles.inra.fr, lamy@versailles.inra.fr.

<sup>2</sup>: Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249,  
Place Leclerc 25030 Besançon Cedex, frederic.gimbert@univ-fcomte.fr

<sup>3</sup>: INRA, US 0010 LAS : Laboratoire d'Analyse des sols, Centre de recherche de  
Lille, Arras, Annie.Guerin@arras.inra.fr

### **Contexte**

Parmi le grand nombre de méthodes dédiées à la quantification de la biodisponibilité des métaux dans les sols, la mesure des concentrations internes dans les organismes est très souvent utilisée. Dans les vers de terre, de nombreuses études ont montré que les teneurs internes étaient souvent mieux corrélées aux teneurs totales en métaux des sols qu'aux teneurs dites disponibles après extractions (e.g. Nahmani et al. 2007)(Hobbelen et al. 2006, Nahmani et al. 2007). Or les teneurs internes globales représentent l'accumulation des métaux à un temps donné. Elles ne permettent pas de rendre compte des processus de régulation et de stockage par lesquels les organismes se protègent (Vijver et al. 2004). Cela pose la question de savoir si les teneurs internes sont réellement des indicateurs de la biodisponibilité des métaux pour les vers de terre.

### **Objectif**

Dans cette étude, on propose d'utiliser la compartimentation des métaux pour mieux comprendre les relations entre la disponibilité des métaux dans les sols et leur biodisponibilité pour les vers de terre. Cette méthode de fractionnement subcellulaire a été utilisée dans le cas des vers de terre pour étudier au laboratoire la cinétique d'accumulation de métaux dans les différents compartiments considérés (Vijver et al. 2006, Jones et al. 2009)(Vijver et al. 2006, Vijver et al. 2007, Jones et al. 2009). Mais les relations entre compartimentation des métaux au sein du ver et biodisponibilité restent à déterminer, particulièrement dans le cas de sols contaminés *in situ*.

### **Matériel et méthodes**

La technique de fractionnement subcellulaire permet de séparer des pools internes de métaux ayant des fonctions différentes au sein de l'organisme : cytosol, membranes, granules enrichies en métaux (Gimbert et al. 2008, Li et al. 2008). Nous l'avons appliquée à des vers de l'espèce *Aporrectodea caliginosa* (Savigny 1826) exposés dans des microcosmes pendant 21 jours à un large panel de sols agricoles plus ou moins contaminés *in situ*, sélectionnés pour constituer un gradient de disponibilité en Cd, Cu, Pb et Zn. *In fine* les 31 sols choisis présentaient des gammes larges de variation en pH, taux de Corg et de texture, et des niveaux faibles à modérés de contamination totale en métaux. La disponibilité

a été mesurée par différentes extractions ( $\text{CaCl}_2$ , EDTA) et une spéciation théorique des métaux a été calculée par modélisation thermodynamique sur la base des caractéristiques de chaque sol. A l'issue de l'exposition, les teneurs internes globales en Cd, Cu, Pb et Zn dans les animaux ont été déterminées, ainsi que celles des trois fractions subcellulaires séparées par centrifugation successives : la fraction cytosolique, la fraction contenant des membranes, et la fraction constituée de granules enrichies en métaux.

## Résultats

Parmi les résultats marquants de cette étude, on montre i) que l'utilisation d'un panel de sol à caractéristiques très différentes permet de mettre en évidence l'importance de facteurs confondants comme la texture des sols dans l'étude de la biodisponibilité des métaux pour les vers de terre (Beaumelle et al. in press), ii) que les teneurs totales internes des métaux

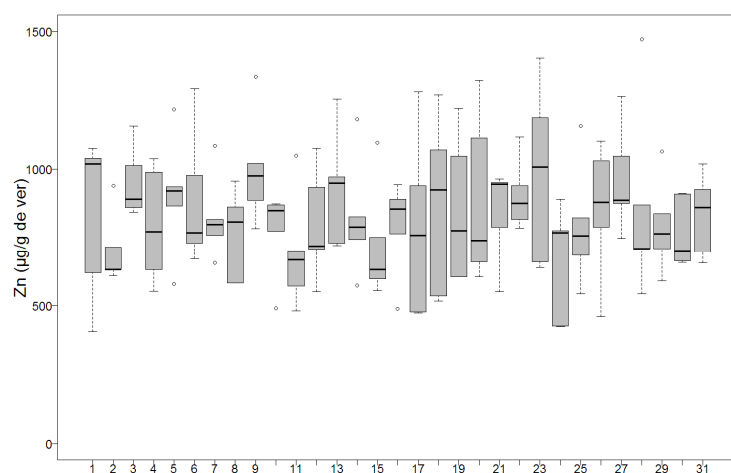


Figure : Teneurs en Zn dans les vers après exposition aux 31 sols

dans les vers ne sont pas ou peu corrélées aux valeurs classiques de disponibilité obtenues par extraction (exemple du Zn, Figure). Dans ce cadre, l'apport de la prise en compte des teneurs dans les fractions subcellulaires dans les relations avec les teneurs totales du sol, les teneurs disponibles ou encore les teneurs théoriques de spéciation est discuté en tant que valeur ajoutée de la compartimentation.

## Remerciements

L'Ademe et l'INRA pour le financement d'une bourse (LB). Cette étude a été financée en partie par le projet Pivers du département EA de l'INRA.

## Références

- Beaumelle, L., N. Cheviron, I. Lamy, and M. Hedde. in press. Is there a relationship between earthworm energy reserves and metal availability after exposure to field-contaminated soils? *Environmental Pollution*.
- Gimbert, F., M. G. Vijver, M. Coeurdassier, R. Scheifler, W. J. G. M. Peijnenburg, P.-M. Badot, and A. de Vaufléury. 2008. How subcellular partitioning can help to understand heavy metal accumulation and elimination kinetics in snails. *Environmental Toxicology and Chemistry* **27**:1284-1292.
- Jones, R. P., A. J. Bednar, and L. S. Inouye. 2009. Subcellular compartmentalization of lead in the earthworm, *Eisenia fetida*: Relationship to survival and reproduction. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **72**:1045-1052.
- Li, L.-Z., D.-M. Zhou, P. Wang, and X.-S. Luo. 2008. Subcellular distribution of Cd and Pb in earthworm *Eisenia fetida* as affected by  $\text{Ca}^{2+}$  ions and Cd-Pb interaction. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **71**:632-637.
- Nahmani, J., M. E. Hodson, and S. Black. 2007. Effects of metals on life cycle parameters of the earthworm *Eisenia fetida* exposed to field-contaminated, metal-polluted soils. *Environmental Pollution* **149**:44-58.
- Vijver, M. G., C. A. M. van Gestel, R. P. Lanno, N. M. van Straalen, and W. J. G. M. Peijnenburg. 2004. Internal Metal Sequestration and Its Ecotoxicological Relevance: A Review. *Environmental Science & Technology* **38**:4705-4712.
- Vijver, M. G., C. A. M. van Gestel, N. M. van Straalen, R. P. Lanno, and W. J. G. M. Peijnenburg. 2006. Biological significance of metals partitioned to subcellular fractions within earthworms (*Aporrectodea caliginosa*). *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**:807-814.

## **Transfert et rétention d'un nématicide "cadusafos" dans les sols volcaniques Antillais**

**FERNANDEZ-BAYO Jesus D.<sup>1</sup> SAMOUËLIAN Anatja<sup>1</sup>, CREVOISIER David<sup>1</sup>, SAISON Carine<sup>2</sup>, CATTAN Philippe<sup>3</sup>, NEGRO Sandrine<sup>1</sup>, HUTTEL Olivier<sup>1</sup>, GENIEZ Chantal<sup>2</sup>, VOLTZ Marc<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>INRA UMR LISAH 2, place Pierre Viala, F-34060 Montpellier

<sup>2</sup> IRD UMR LISAH 2, place Pierre Viala, F-34060 Montpellier,<sup>(3)</sup> CIRAD, station de Neufchâteau, 97130 Capesterre B.E. – philippe.cattan@cirad.fr

### **Introduction**

L'utilisation de pesticides en agriculture est une pratique courante pour le contrôle des bioagresseurs des cultures. Elle conduit à des impacts environnementaux constatés en de nombreuses régions du monde, notamment au plan de la contamination des eaux par les matières actives employées. En régions tropicales, du fait d'un manque de références sur le comportement des matières dans l'environnement, l'évaluation des risques est peu développée et/ou biaisée. Ainsi, pour les Antilles françaises l'évaluation est actuellement conduite par défaut avec des procédures et des outils élaborés pour décrire le devenir des pesticides dans un contexte européen (<http://focus.jrc.ec.europa.eu/>). Elle s'appuie sur des modèles et des scénarii agropédoclimatiques représentant les conditions spécifiques des régions agricoles majeures de l'Union Européenne, mais qui sont fort différentes de celles rencontrées en milieu tropical. En effet, un régime pluviométrique très intense, des températures élevées tout au long de l'année, des cultures modifiant significativement les écoulements du fait de la structure de leur couvert (e.g. bananes), une présence importante de sols développés sur substrat volcanique, à forte teneur en matière organique, disposant d'une capacité élevée de fixation des cations et anions, et dotés de fortes capacités d'infiltration, sont des caractéristiques très spécifiques des zones agricoles des Antilles. Ainsi, la représentativité des estimations des concentrations de matières actives dans les eaux, issues de la démarche FOCUS, n'est pas garantie pour les DOM. Pour adapter la démarche d'évaluation, une première étape est de caractériser le comportement des molécules dans des types de sols représentatifs des sols antillais et de développer une modélisation ad hoc du transfert dans les sols. Pour cela, notre étude i) compare les propriétés d'adsorption/désorption et de percolation d'un pesticide sur andosol et nitisol, sols bien représentés dans la sole bananière, et ii) développe une approche de modélisation ad hoc. Du fait de travaux antérieurs ayant déjà analysé les processus de transfert du cadusafos, un nématicide utilisé en bananeraie jusqu'en 2008, sur une parcelle de bananes sur andosol (Saison et al., 2008), nous avons choisi cette molécule comme modèle expérimental.

### **Principaux résultats**

L'adsorption de cadusafos est plus importante sur Andosol ( $K_d$  de 2.86 L kg<sup>-1</sup> à 0-20 cm et 1.47 L kg<sup>-1</sup> à 30-60 cm) que sur nitisol (0.76 L kg<sup>-1</sup> à 0-10cm et 0.44 L kg<sup>-1</sup> à 50-70 cm) pour les deux horizons de sols prospectés. Ceci s'explique principalement par la plus forte teneur en matière organique de l'andosol. La désorption de la molécule ne présente pas d'hystérèse forte par rapport à l'adsorption, ce qui implique que la molécule peut facilement se désorber.

Des simulations de pluies successives effectuées pendant 11 semaines sur les colonnes de sol, montrent que les écoulements sur andosol sont très rapides en cohérence avec la macroporosité observée sur ce type de sol. Le temps de percée varie respectivement entre 30 et 60 minutes pour les pluies d'intensité de 20 et 40 mm/h, et avec un débit de drainage maximal entre 20 et 40 mm/h. La concentration maximum de cadusafos (8817 µg/l) dans les eaux de percolation est atteinte dès la première pluie après l'application. Les pics de concentrations sont élevés pour les cinq premières pluies, et diminuent par la suite en raison majeure de la dégradation et dissipation de la molécule dans le sol. La colonne nitisol présente au contraire des écoulements de type darcien, avec une mise en charge systématique et un temps de percée entre 30 et 55 minutes, et le débit de drainage est de l'ordre de 2 mm/h indépendamment de l'intensité de pluie. Ainsi la concentration de cadusafos dans les eaux de percolation n'atteint son maximum de concentration, 18523 µg/l, qu'au bout des 11 simulations de pluies.

Concernant l'état de la molécule dans l'ensemble de la colonne et après les simulations de pluie, les tests d'extraction indiquent que la fraction de cadusafos extractible est beaucoup plus importante pour le nitisol (52%) que pour l'andosol (4%) ; tandis que la fraction non extractible est plus importante pour l'andosol (20%) que pour le nitisol (6%). Dans le cas de l'andosol le travail de modélisation de la percolation représente les flux préférentiels par une approche de type double perméabilité. Dans le cas du Nitisol une approche darcienne classique avec simple perméabilité mais avec une sorption cinétique du cadusafos permet de reproduire les observations sur colonne. La modélisation a été mise en œuvre par le modèle WATSFAR développé au LISAH (Crevoisier et Voltz, en cours).

## **Conclusion**

Les résultats ci-dessus montrent des fonctionnements différenciés de l'adsorption et de la percolation du cadusafos sur deux sols typiques de la sole bananière et indiquent donc le besoin d'une prise en compte de la diversité pédologique pour l'évaluation des risques de transfert des pesticides dans le milieu antillais. Ils montrent également le besoin d'approches de modélisation adaptées, qui ne correspondent pas aux scénarios de modélisation actuellement prévus par FOCUS.

## **Remerciements**

Les résultats présentés dans cette communication font l'objet d'un soutien par l'ANSES en vue du développement d'un outil de prédiction des concentrations dans les eaux souterraines et superficielles pour les produits phytosanitaires destinés aux DOM.

## **Modélisation de l'effet de la structure du sol sur les flux d'eau et d'isoproturon dans un sol cultivé recevant des apports répétés de compost**

**FILIPOVIC Vilim<sup>1,2,3</sup>, COQUET Yves<sup>2</sup>, BENOIT Pierre<sup>3</sup>, POT Valérie<sup>3</sup>, HOUOT Sabine<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> : Département d'amélioration des sols, Faculté d'Agriculture, Université de Zagreb, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatie, vfilipovic@agr.hr

<sup>2</sup> : ISTO, UMR 7327 Université d'Orléans, CNRS/INSU, BRGM, 45071 Orléans, France, yves.coquet@univ-orleans.fr

<sup>3</sup> : UMR 1091 EGC, INRA, AgroParisTech, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, pierre.benoit@grignon.inra.fr, valerie.pot@grignon.inra.fr, sabine.houot@grignon.inra.fr

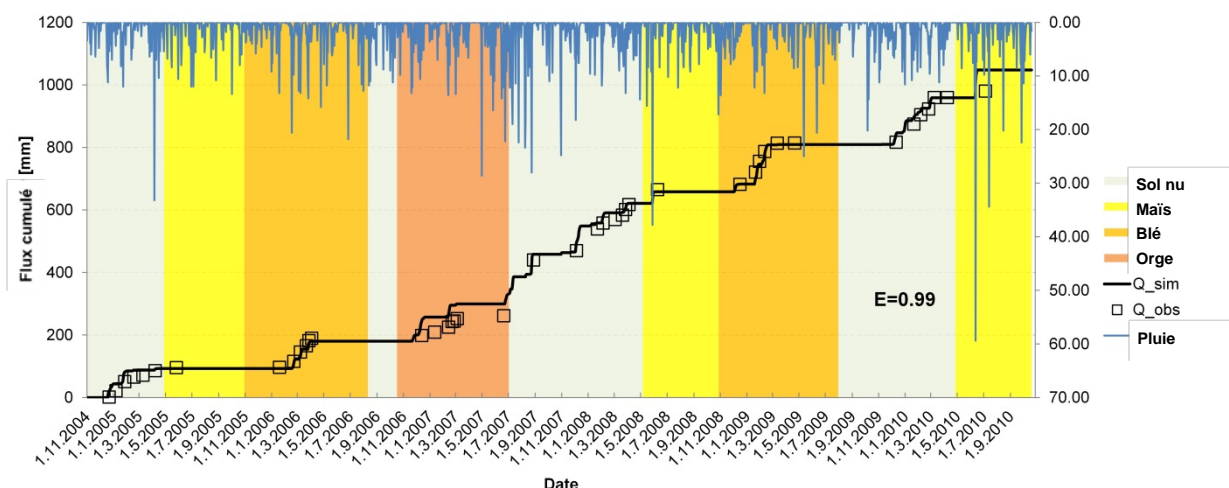
L'essai de longue durée Qualiagro (opération INRA-Veolia, en place depuis 1998) a pour objectif d'étudier les impacts agronomiques et environnementaux de l'apport de composts au sol cultivé en contexte d'agriculture conventionnelle. Dans ce cadre, une étude de modélisation a été réalisée afin d'évaluer sur plusieurs années l'impact des hétérogénéités de structure du sol créées par le travail du sol et l'apport de compost sur les transferts d'eau et d'isoproturon, herbicide utilisé sur céréales d'hiver.

Le sol est un Luvisol-Rédoxisol dégradé issu de loess surmontant un niveau d'argile à meulière situé à environ 2,5 m de profondeur. La parcelle, cultivée selon une rotation blé d'hiver-maïs, reçoit une année sur deux depuis 1998 un apport de co-compost de déchets verts et de boues de station d'épuration, sur chaumes de blé, à la dose de 4 tonnes de carbone organique par hectare. Le sol est labouré chaque année à l'aide d'une charrue à quatre socs. Depuis 2004, la parcelle est équipée de deux lysimètres à mèche de 25 cm de côté, localisés l'un à côté de l'autre à 40 cm de profondeur, et exerçant une succion de 70 cm, ainsi que des sondes TDR (Time Domain Reflectometry) pour la mesure de la teneur en eau volumique du sol, tous les 20 cm de 20 à 100 cm de profondeur. Des mesures tensiométriques ont aussi été réalisées en 2007/2008 aux mêmes profondeurs ainsi qu'aux profondeurs 130 et 160 cm.

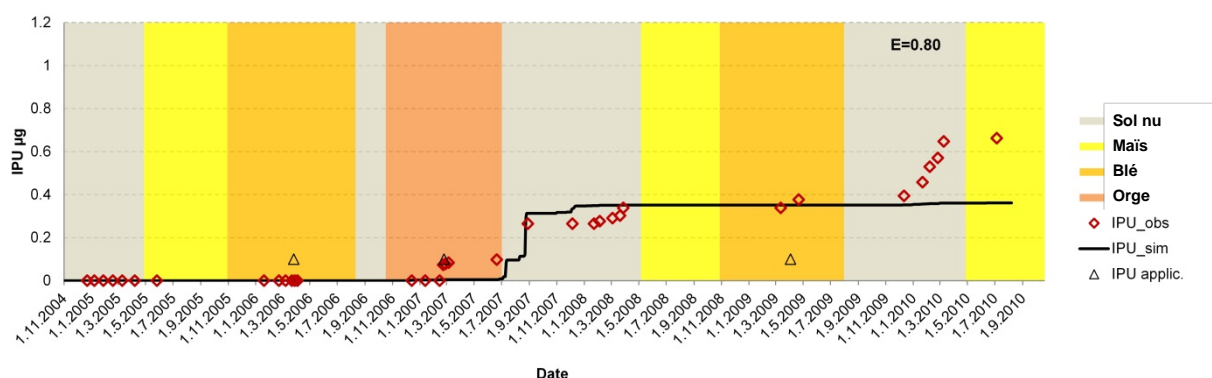
Le modèle HYDRUS-2D a été utilisé pour simuler les transferts d'eau et d'isoproturon dans le sol étudié, sur la base d'une description du profil cultural de la parcelle. Celui-ci était composé de 4 types de zones de structure différente : (i) des zones compactes, sans macroporosité visible à l'œil nu, issues du sol tassé par d'anciens passages de roues d'engins agricoles, repris par le labour, et noté  $\Delta$  selon les catégories proposées par Manichon (1982) ; (ii) des zones dotées d'une macroporosité bien visible à l'œil nu, facilement fractionnable en agrégats, et notée  $\Gamma$  ; (iii) des zones correspondant aux interbandes de labour (IF) dans lesquelles on reconnaît les résidus de culture et, le cas échéant, le compost apporté au sol, enfouis par le labour ; et enfin (iv) une semelle de labour (PP) située entre la base de la couche labourée la plus récente et le sol qui n'a jamais été travaillé. Pour chaque structure de la couche travaillée et chaque horizon du sol sous-jacent, les propriétés de rétention en eau ont été mesurées à l'aide de presses de Richards et la conductivité hydraulique à saturation à l'aide d'un infiltromètre à disques. Les propriétés d'adsorption et de dégradation de l'isoproturon ont été mesurées en batch et en incubation au laboratoire.

La dynamique hydrique du sol et les flux d'eau capturés par les lysimètres n'ont pas pu être décrits sur la base des paramètres de rétention en eau et de conductivité hydraulique mesurés indépendamment. En particulier, aucun flux d'eau n'était simulé en sortie des

lysimètres à mèche, contrairement à ce qui a pu être mesuré sur le terrain. En revanche, après avoir optimisé les paramètres hydriques du sol à partir des teneurs en eau volumiques, des potentiels hydrauliques et des flux d'eau dans les lysimètres mesurés pendant l'année culturale 2007/2008 (sol nu, puis maïs), les données de suivi hydrique ont pu être correctement décrites sur l'ensemble de la période 2004/2010 (efficacité du modèle pour la simulation des flux cumulés issus des lysimètres : 0,99).



De manière similaire, l'utilisation des vitesses de dégradation mesurées en laboratoire entraîne une très forte surestimation des pertes d'isoproturon constatées en sortie de lysimètres. Une multiplication par un facteur 10 de la vitesse de dégradation de l'isoproturon dans l'ensemble du profil de sol permet d'obtenir le bon ordre de grandeur des pertes cumulées recueillies dans l'eau de drainage des lysimètres. Mais il semble que le devenir de l'isoproturon lors des 3 applications survenues au cours de la période 2004/2010 ne puisse être précisément décrit par un jeu unique de paramètres de dissipation.



## Référence bibliographique

Manichon H., 1982. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse de doctorat INAPG, Paris, 214 p.



## **Mobilisation et rétention du diuron dans les fonds de fossés suite à une expérimentation de succession de crues**

SAMOUELIAN, Anatja, DAGES Cécile, STORCK Veronika, NEGRO Sandrine,  
HUTTEL Olivier, VOLTZ Marc. (1)

(1) INRA UMR LISAH 2, place Pierre Viala, F-34060 Montpellier –  
anatja.samouelian@supagro.inra.fr

### **1 Introduction**

Les fossés agricoles sont des éléments bien spécifiques du paysage cultivé. Leur fonction hydraulique implique un entretien régulier (brulis, curage, fauche, désherbage chimique...). Ils sont des zones de transfert privilégiés où les processus de dépôt et d'érosion sont importants. Les teneurs en matière organiques peuvent y être bien plus élevées que dans les parcelles attenantes, conférant ainsi des propriétés de rétention de produits phytosanitaires contrastées. En région méditerranéenne, les fossés jouent un rôle important dans la recharge de la nappe (Dagès et al. 2009), et sont une voie potentielle de contamination des ressources en eaux souterraines.

L'objectif de cette étude a été de déterminer la dynamique de percolation d'un pesticide dans un fossé infiltrant lors d'une succession de crues. Nous avons analysé la dépendance de la concentration en pesticide des eaux de percolation dans le fossé à la contamination des écoulements de crue.

### **2. Matériel et Méthode**

Une expérimentation simulant 9 crues a été réalisée sur une colonne de sol non perturbé (diamètre 15 cm, hauteur 15 cm), prélevée dans le fossé exutoire du bassin versant de Roujan (Hérault, France, ORE OMERE (Voltz et Albergel, 2002)). Les quatre premières crues ont permis d'injecter des concentrations en diuron marquée au C<sup>14</sup> allant de 1000 à 1 µg/l et les cinq crues suivantes étaient sans apport de diuron. Ces concentrations décroissantes de diuron sont en accord avec les observations saisonnières faites dans les eaux de ruissellement sur le bassin versant (Louchart et al. 2001). Lors de la première crue un traçage au tritium a également été effectué. Pour chaque expérimentation l'hydrogramme, et le chemogramme des flux percolés ont été suivis. Après la dernière crue, une quantification des résidus extractibles à l'eau, à l'acétone et des résidus non extractibles a été déterminée.

### **3. Résultats**

Les premiers résultats montrent que plus de la moitié du diuron injecté percole à travers la colonne ; les concentrations des lixiviats ne sont pas directement corrélées à celle de l'eau d'injection. En effet à partir de la troisième crue les concentrations des lixiviats sont supérieures à celle de l'eau d'injection. De plus les chémogrammes des deux dernières crues (avec de l'eau claire uniquement) présentent des concentrations très similaires (entre 8 et 2 µg/l). On distingue deux types de transport au sein de la colonne, un transfert rapide via la macroporosité, et un transfert plus lent via la microporosité en lien avec une structure porale influencée par le développement racinaire de la végétation colonisant à certaines périodes les fonds de fossés.

## 5. Conclusion et perspectives

Ces résultats tendent à démontrer que les fossés infiltrants peuvent être un lieu majeur de contamination des nappes. Les dynamiques mise en évidence sont néanmoins assez complexes reposant à la fois sur un transfert important de contaminants associés aux épisodes de crues contaminées, à une rétention partielle des contaminants infiltrés au sein de l'horizon lui-même et à leur remobilisation lors de crues ultérieures.

## Références

- Dagès C., Voltz M., Bsaibes A., Prévot L., Huttel O., Louchart X., Garnier F., Negro S. 2009. Estimating the role of a ditch network in groundwater recharge in a mediterranean catchment using a water balance approach. *Journal of Hydrology* 375: 498-512
- Louchart X., Voltz M., Andrieux P., Moussa R. 2001. Herbicide Transport to Surface Waters at Field and Watershed Scales in a Mediterranean Vineyard Area. *Journal of Environmental Quality* 30: 982-991
- Voltz M., et Albergel, J. 2002. OMERE : Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau - Impact des actions anthropiques sur les transferts de masse dans les hydrosystèmes méditerranéens ruraux. Proposition d'Observatoire de Recherche en Environnement

## **Apport du traitement géostatistique dans la spatialisation de la contamination polymétallique de sol par les activités minières**

**SOUBRAND Marilyne<sup>1</sup>, JOUSSEIN Emmanuel<sup>1</sup>, LENAIN Jean-François<sup>1</sup>, BOUSSEN Salma<sup>2</sup>, MUNOZ Marguerite<sup>3</sup>, LLUBES Muriel<sup>3</sup>, ROUSSE Sonia<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>: Université de Limoges, GRESE (Groupement de Recherche Eau Sol Environnement), EA4330, Université de Limoges, 123 Avenue Albert Thomas 87060 Limoges Cedex France

<sup>2</sup>: Université Tunis El Manar, Laboratoire des Ressources Minérales et Environnement, Département de Géologie, Faculté Des Sciences, Tunis, Tunisie

<sup>3</sup>: Université de Toulouse, Laboratoire Géosciences Environnement Toulouse (GET), - UMR5563 CNRS-UPS-IRD-OMP, 14 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

### **Introduction**

Les activités minières sont à l'origine de la production d'une grande quantité de déchets potentiellement contaminés qui peuvent présenter de fortes teneurs en éléments métalliques et métalloïdes. En effet, le procédé d'extraction d'un minerai s'accompagne également de la production de déchets composés de phases minérales héritées ou néoformées riches en éléments métalliques et métalloïdes. Ces déchets sont ensuite déposés soit dans des bassins de décantation soit entreposés en terrils sans aucun aménagement constituant ainsi une source potentielle de pollution. Au cours du temps, les déchets sont soumis aux intempéries entraînant une dissémination potentielle des contaminants par érosion éolienne et/ou hydrique sur l'environnement alentours comme les champs, les chemins ou villages. Ceci se matérialise par un risque fort de contamination de la ressource en eau et de la chaîne trophique. L'objectif de cette étude était de mettre en place un outil de diagnostic rapide et peu coûteux afin de spatialiser la dispersion de la contamination minière (voies hydrique et/ou éolienne) dans l'environnement en contexte minier.

### **Matériel et méthodes**

L'étude a été réalisée au niveau de sols agricoles (champs d'oliviers) aux abords de l'ancienne mine plombo-zincifère de Djebel Ressay (Tunisie). Un XRF portable a été utilisé sur le terrain pour l'analyse systématique des teneurs en éléments chimiques (en un temps très court, à un coût généralement moindre que celui des coûts d'analyses en laboratoire et

avec un résultat immédiatement disponible. La susceptibilité magnétique a été mesurée par un kappamètre de terrain (KT10). La méthodologie mise en place a été de type point par point (environ 400 points d'analyses), mais n'est pertinente qu'en la couplant avec une approche géostatistique (Systat 12).

### **Résultats et discussion**

Les résultats mettent clairement en évidence la dispersion par voie hydrique de la contamination du stérile vers les champs alentours. Une forte corrélation entre le Pb, le Zn et le Cd dans les sols et les déchets a été mise en évidence impliquant un comportement géochimique similaire de ces éléments (i.e. stabilité des phases porteuses). Une anti-corrélation entre la susceptibilité magnétique et les teneurs totales en métaux a été observée permettant de considérer la susceptibilité magnétique comme un marqueur du transport particulaire du terril de déchets miniers vers les sols. Cette différence entre la susceptibilité magnétique et la concentration en métaux entre le terril et les sols peut s'expliquer d'une part par un changement de la nature des porteurs magnétiques entre les 2 compartiments (tous les Fe-minéraux n'ont pas la même intensité du signal magnétique) et d'autre part par un effet de dilution.

Ces travaux peuvent suggérer que la susceptibilité magnétique peut-être un outil intéressant, rapide de mise en œuvre et peu coûteux pour mettre en évidence des risques de contaminations. En effet, après s'être assuré que les tailings ont un faible signal magnétique, il est ainsi possible de mettre en évidence le transfert de ces matériaux dans l'environnement local.

L'intégration de cette démarche couplée (mesures terrain et analyses géostatistiques) permet de réaliser des cartes de spatialisation des différents contaminants métalliques, ou encore des cartographies minéralogiques à l'échelle du site ou de la parcelle (par exemple détermination des phases minérales porteuses susceptibles de migrer préférentiellement dans l'environnement). Cette démarche calibrée sur Djebel Rerras peut être directement transposable à différentes échelles et à d'autres environnements en tenant compte des spécificités des différents milieux dans le traitement géostatistique. Au niveau des enjeux sanitaires (biodisponibilité et/ou bioaccessibilité), le traitement géostatistique associé aux fonctions de transferts adéquats (déterminés pour l'environnement en question) et la mesure en quelques points de ces paramètres par les autres équipes du projet permettent d'envisager de réaliser la cartographie spatiale des enjeux sanitaires.

### **Remerciements**

Ce travail a été financé par les programmes SICMED et PHC UTIQUE-CMCU.

## Dynamique des Produits Pharmaceutiques dans les sols et sédiments.

MOREL Marie-Christine <sup>1,2</sup>, SEBASTIANUTTI Sophie <sup>1</sup>, SPADINI Lorenzo <sup>1</sup>, RIQUIER Jérémy <sup>3</sup>,  
BROCHERY Victor <sup>1</sup>, VULLIET Emmanuelle <sup>4</sup>, MARTINS Jean <sup>1</sup>

1 : LTHE, UMR 5564 UJF/CNRS/INPG/IRD, University of Grenoble 1, FRANCE;  
Bâtiment OSUG B, Domaine universitaire, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 09

2 : CNAM, Laboratoire d'Analyse Chimique et Bioanalyse, Ecole SITI, 292 rue Saint  
Martin, 75141 Paris cedex 03

3 CNRS, UMR 5600 EVS / Site ENS de Lyon, 15 Parvis René Descartes, Bat.  
Recherche, BP 7000, 69342 Lyon cedex 07 – FRANCE

4 CNRS, UMR 5280 INSTITUT DES SCIENCES ANALYTIQUES (ISA) Département  
Service Central d'Analyse- Equipe TRACES- 5 rue de la Doua, 69100  
VILLEURBANNE

### Dynamique des Produits Pharmaceutiques dans les sols et sédiments

La communauté scientifique et les organismes chargés de la santé portent un intérêt croissant sur la présence et les effets biologiques des polluants dits 'émergents' Par perte/dégradation/consommation ces molécules (produits ignifugés, additifs de crèmes, produits pharmaceutiques (PP)) pénètrent par la suite dans les sols. Les travaux de recherche actuellement menés sur ces composés peuvent de manière simplifiée être classés en trois catégories :

1 Recherche, détection et quantification des polluants et de leurs métabolites dans les sols à des taux de dilution importants grâce à des moyens analytiques nouveaux et performants. (Reemtsa, 2009 ; Thiele-Bruhn, 2003),

2 Détermination des propriétés de rétention (typiquement  $K_d$ ) et/ou des cinétiques de dégradation et des métabolites associés

3 Etude de la mobilité, modélisation des polluants à l'échelle de colonne et in situ.

Dans le cas des études de rétention des PP dans les sols, la sorption des PP est décrite par des valeurs  $K_d$ , (partition solide-liquide), ou  $K_{OC}$  (partition liquide-matière). Or les PP possèdent des groupements acides-bases et complexants très réactifs ( $pK_a$  Ibuprofene 5.4 et  $pK_a$  Sulfamethoxazole 5.9 qui ne sont pas pris en compte par ces constantes limitant ainsi leur pouvoir de prédiction dans les sols et aquifères. Ces molécules vont avoir tendance à se lier aux phases solides des sols et sédiments sur les sites de complexation des argiles (edge sites), de la matière organiques (carboxyls, amines, phenols en priorité) et des autres phases minérales (hydroxyls et siloxanes), ainsi qu'aux sites d'échange cationique des argiles.

Dans ce contexte, un projet centré sur la mesure de la disponibilité chimique de ces polluants pharmaceutiques basé sur une approche de laboratoire pluridisciplinaire qui découple les processus avec une complexification progressive du milieu de transfert jusqu'au sol ou sédiment a été initié au LTHE. L'objectif est de décrire et quantifier les phénomènes en lien avec les fonctions chimiques des molécules et non plus par familles de molécules. Ainsi, par cette nouvelle approche, des fonctions et propriétés physicochimiques précises seront identifiées comme « actrices » des phénomènes de rétention.

Nous présenterons la méthodologie mise en place pour déterminer ces descripteurs chimiques et physiques. Un choix ciblé de molécules organiques de types produits pharmaceutiques a été effectué en lien avec leur présence dans l'environnement et les fonctions chimiques.

Nous présenterons comme exemple un antibiotique appartenant à la famille des sulfonamides : le sulfamethoxazole présent dans tous les compartiments de l'environnement. Les premiers résultats de ces études montrent que les produits pharmaceutiques peuvent complexer les métaux présents dans le sol et sont variablement hydrophobes suivant le pH.

Ceci indique que leur rétention dans les sols naturels est complexe et n'est pas contrôlée principalement par le taux de matière organique des sols. Ces travaux permettent d'identifier d'autres descripteurs comme par exemple les propriétés de complexation du sol. Cette étude à plus long terme servira à caractériser les propriétés de surface des sols et sédiments qui contrôlent le transfert des composés organiques dans les sols.

Reemtsma T., Determination of molecular formulas of natural organic matter molecules by (ultra-) high-resolution mass spectrometry, Status and needs, *Journal of Chromatography A*, 1216, (2009), 3687–3701

Thiele-Bruhn S., Seibicke T., Schulten H.-R., Leinweber P., Sorption of sulfonamide pharmaceutical antibiotics on whole soils and particle-size fractions. *J. Environ. Qual.* 33, (2004), 1331-1342.

## Evaluation de la réactivité des matières organiques et de l'argile dans un sol limono-argileux par l'analyse des phases réactives des agrégats

NAVEL Aline, SPADINI Lorenzo, MARTINS Jean M.F., VINCE Erwann

LTHE, UMR 5564 UJF/CNRS/INPG/IRD, University of Grenoble 1, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France, [aline.navel@ujf-grenoble.fr](mailto:aline.navel@ujf-grenoble.fr), [lorenzo.spadini@ujf-grenoble.fr](mailto:lorenzo.spadini@ujf-grenoble.fr), [jean.martins@ujf-grenoble.fr](mailto:jean.martins@ujf-grenoble.fr), [ermann.vince@ujf-grenoble.fr](mailto:ermann.vince@ujf-grenoble.fr)

### Contexte

Une nouvelle méthode est proposée permettant de quantifier les réactivités de différentes matières organiques (particulaires et dispersées) et des argiles contenues dans les agrégats d'un sol non carbonaté. La réactivité se définit ici comme la réactivité aux acides et bases faibles, et complexante envers les métaux de transition. La méthode est basée sur une séparation granulométrique 'douce'. Cinq fractions granulométriques (> 250, 250-63, 63-20, 20-2 et < 2  $\mu\text{m}$ ) sont obtenues en appliquant un protocole de fractionnement peu destructurant permettant de préserver les microagrégats du sol, considérés comme des habitats microbiens très spécifiques (Navel & Martins 2014, Constancias et al., 2014).

### Méthodologie

Sur chacune des cinq fractions granulométriques du sol, la capacité d'échange aux acides faibles ( $T_{\text{HS}}$ ) est obtenue par titrimétrie, en déterminant les protons libérés par les surfaces solides entre pH 4 et 11. Cette grandeur quantifie la concentration totale des acides faibles échangeables, les sites associés lient les cations complexants (tels Cu, Cd, Pb, Ni...). Cette grandeur s'oppose à la capacité d'échange cationique (CEC) caractérisant les sites non complexants à acidité forte.

Dans chacune des fractions  $H_S$  est combinée linéairement à deux variables quantifiant les phases solides d'intérêt et leur réactivité : (1) la concentration totale de carbone solide ( $T_{\text{OC}}$ ) représentant la réactivité au carbone, et (2) la concentration d'aluminium extrait aux acides forts ( $E_{\text{Al}}$ ) représentant la fraction argileuse en contact avec l'acide ayant pu dissoudre l'aluminium, donc une mesure de la surface relative entre fractions des argiles en contact avec l'acide fort – ou par extension, la surface relative de l'argile au contact avec l'eau du sol entre fractions. Les phases primaires contenant également de l'aluminium (Feldspath...) sont peu soluble aux acides utilisés ( $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ ). La dernière variable est le cuivre total extrait des fractions après que le sol ait été contaminé au cuivre. Le cuivre est choisi comme cation modèle car (1) il s'agit d'un polluant métallique utilisé en agriculture (agent actif de la bouillie bordelaise), et (2) c'est un métal de transition connu pour son affinité pour la matière organique. On obtient par combinaison linéaire de  $T_{\text{OC}}$  et  $E_{\text{Al}}$  à  $H_S$  les réactivités calculées des matières organiques et des argiles des cinq fractions granulométriques du sol.

Ce protocole a été appliqué aux sous-fractions d'un sol limono-argileux sous vigne (Mâcon, France). Deux sols identiques mais respectivement non amendé (sol NA) ou amendé en compost de conifères (CC) ont été contaminés au cuivre, puis fractionnés en microagrégats et analysés selon la méthode décrite ci-dessus.

### Résultats

Les rapports  $T_{\text{HS}} / T_{\text{OC}}$  augmentent dans les petites fractions. Ceci indique que la matière organique (MO) n'est pas le seul échangeur de protons, et/ou que la MO n'a pas une réactivité unique entre fractions (Figure 1). Ce résultat peut être interprété par le fait que les argiles, ou respectivement les sites situés sur les arêtes des minéraux (i.e. les 'edge sites'), plus enrichis dans les fractions fines, fixent également des protons. De façon similaire les rapports  $T_{\text{Cu}} / T_{\text{OC}}$  augmentent vers les petites fractions, indiquant que le cuivre ne se lie pas uniquement aux sites carbones réactifs au cuivre, mais aussi aux sites de complexation des argiles.

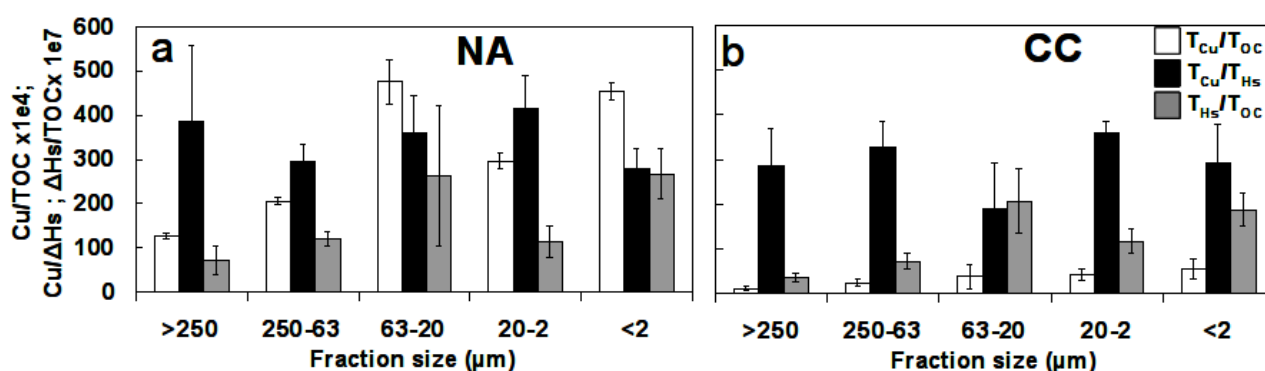


Figure 1 : Rapports des variables de réactivité mesurées dans les différentes fractions granulométriques des sols témoin (NA) et amendé en compost de conifère (CC): T<sub>Cu</sub> (concentration totale solide de cuivre), T<sub>OC</sub> (concentration totale solide de carbone), T<sub>HS</sub> (concentration totale des sites échangeurs de protons).

Les rapports T<sub>Cu</sub> / T<sub>HS</sub> sont au contraire relativement constants entre fractions. Ceci indique que le cuivre se fixe essentiellement sur les sites de complexation, et non pas sur les sites d'échanges cationiques plus enrichis dans les fractions fines.

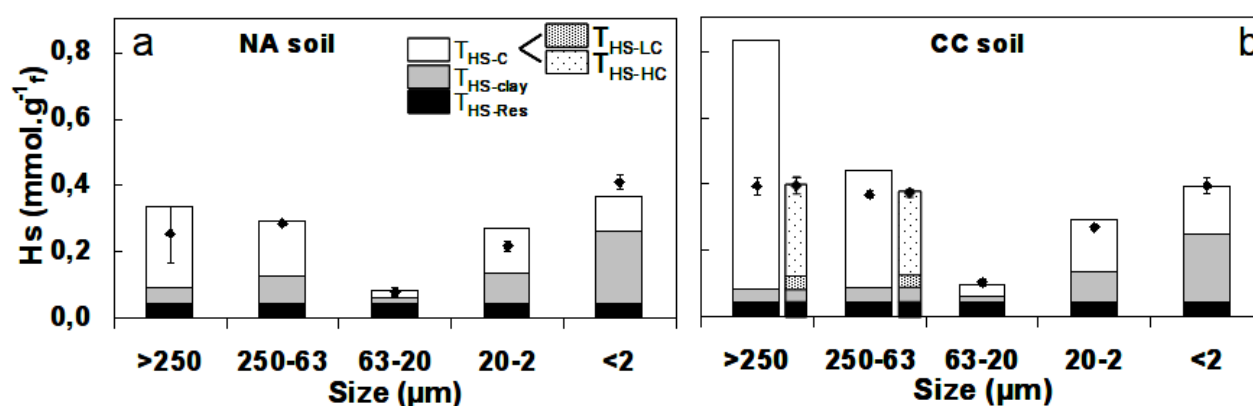


Figure 2. Capacité d'échange de protons T<sub>HS</sub> mesurée (losanges) et calculées par combinaison linéaire à partir des mesures de carbone organique total, T<sub>OC</sub> (blanc), d'aluminium extractible aux acides forts, E<sub>Al</sub> (gris) et de la fraction résiduelle constante entre fractions (noir).

La Figure 2 compare la réactivité mesurée des fractions, T<sub>HS</sub> (losanges) à celle calculée à partir des teneurs en carbone et d'aluminium extractible. A ces deux grandeurs s'ajoute la réactivité résiduelle représentant un excès de réactivité constaté dans la fraction 63-20 μm constitué principalement de minéraux primaires ; la fraction est peu réactive mais abondante en terme de masse. Dans le sol non amendé en matière organique (NA), les réactivités mesurées et calculées sont en bon accord suggérant que le modèle considère correctement la réactivité globale du sol et ses fractions, et indiquant plus spécifiquement que le carbone organique a une réactivité similaire dans les cinq fractions. Dans le sol CC, en utilisant les réactivités calculées pour le sol NA, on constate un excès de réactivité prédit dans les fractions grossières, en lien avec l'importante valeur de T<sub>OC</sub> mesurée. Ces fractions contiennent en effet une concentration élevée de matière organique particulaire, peu dégradée, présentant donc une densité faible de groupes fonctionnels réactifs aux acides et bases et aux métaux complexants. La réactivité au carbone calculé dans le sol NA est proche de valeurs publiées pour les acides humiques et fulviques. Les réactivités du carbone particulaire sont d'autant plus faibles que les particules sont grandes. Les impuretés minérales présentes dans le carbone particulaire (+/-50% de leur masse) sont appréhendés par le fait qu'on connaît le rapport masse carbone sur masse totale des particules organiques.

Constancias, F., Prévost-Bouré, N., Terrat, S., Aussems, S., Nowak, V., Guillemin, J.-P., Bonnotte, A., Biju-Duval, L., Navel, A., Martins, J., Maron, P.-A., Ranjard, L., 2013. Microscale evidence for a high decrease of soil bacterial density and diversity by cropping. *Agron. Sustain. Dev.* 1–10.

Navel, A., Martins, J.M.F., 2014. Effect of long term organic amendments and vegetation of vineyard soils on the microscale distribution and biogeochemistry of copper. *Sci. Total Environ.* 466–467, 681–689.



## **La respiration du sol et le comportement des vers de terre comme indicateurs d'impacts écotoxiques Travaux pratiques de Master (UAPV)**

**BERARD Annette<sup>12</sup>, CAPOWIEZ Yvan<sup>3</sup>, MAZZIA Christophe<sup>4</sup>, MARC Vincent<sup>12</sup> et  
VALLES Vincent<sup>12</sup>**

<sup>1</sup>UMR EMMAH INRA (1114), Domaine St Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>2</sup>UMR EMMAH UAPV (1114), 33, rue Louis Pasteur, 84000 Avignon

<sup>3</sup>UR PSH INRA, Domaine St Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>4</sup>IMBE UMR 7263, UAPV, 301 rue Baruch de Spinoza, 84916 Avignon cedex 9

### **Introduction**

Le Master Hydrogéologie, Sol et Environnement (HSE) de l'Université d'Avignon propose depuis plusieurs années un module d'écotoxicologie dont l'objectif est de sensibiliser les étudiants (M2) hydrogéologues à cette discipline et à ses outils d'évaluation.

Contexte pollution : La nappe située à proximité d'un site industriel (production de solvants chlorés, de matières premières pour fabrication de polymères fluorés, de PVC et d'acide chlorhydrique solution et anhydre) a été prélevée au moyen d'un piézomètre situé entre le site et la Durance. Un liquide odorant, contenant des solvants chlorés (substitués chlorés de l'éthylène, de l'éthane et du méthane), de l'hexachlorocyclohexane et des PCB a été directement récupéré. Cet échantillon indique une pollution très probablement liée au site industriel, ayant contaminé la nappe via un transfert par le sol.

L'objectif de ces Travaux Pratiques d'écotoxicologie (une sortie d'une journée, deux TP de 4 heures) est de placer les étudiants (2 groupes de 10) face à une situation de contamination et de leur permettre d'appliquer au laboratoire des bioessais d'écotoxicité pour aborder les effets de cette pollution sur la vie des sols.

### **Méthodes**

Les bioessais ont été appliqués à deux niveaux trophiques de l'écosystème sol : les vers de terre (VdT, introduits) et les communautés microbiennes (endogènes).

Une expérimentation de contamination artificielle d'un sol par l'application de doses croissantes de l'échantillon de nappe contaminé a donc été réalisée par deux groupes d'étudiants.

Le sol a été prélevé dans une zone de vergers abandonnés à proximité de l'Inra (sol brun calcaire sur port alluvial de Durance) et tamisé (3mm) et placé à un taux d'humidité de 21 % (correspondant à 50% de la WHC). Six doses croissantes de polluant plus le témoin (0, 5, 10, 50, 100, 200, 1000 µl) ont été mélangées à 400g de sol. Les sols ainsi artificiellement pollués ont été placés dans des boîtes de pétri ouvertes pendant 2h30 sous hotte ventilée.

Des vers de terre *Lumbricus terrestris* ont été introduits et ainsi exposés dans ces sols artificiellement contaminés pendant 4 jours (2X3 VdT par dose testée). Paramètres des vers de terre étudiés : 1) Mortalité 2) Mesure du poids des vers 3) de la taille des agrégats de sol (indicatrice de la production de turricules) 4) Comportement d'excavation : Les vers vivants préalablement exposés dans les sols contaminés, sont introduits dans des cadres 2D remplis de sol témoin et leur comportement excavateur est suivi durant 5 jours.

Après les 4 jours d'exposition initiale, du sol est prélevé pour des mesures de microrespirométrie (MicroResp<sup>TM</sup>). Paramètres microbiens étudiés : la technique MicroResp<sup>TM</sup> est basée sur une incubation de quelques heures des sols distribués dans des microplaques. La mesure de respiration se fait par colorimétrie d'une plaque de détection placée au dessus de la plaque contenant les sols et associée à celle-ci par un joint durant l'incubation (calibration par

chromatographie au préalable). Cinq à Six réplifications sont réalisées par dose testée : 1) proxy de la biomasse microbienne active (BMA) avec la respiration induite par le glucose 2) respiration basale (RB) et quotient métabolique ( $qCO_2 = BMA/RB$ ) comme indicateurs écophysiologiques et 3) profil catabolique (CLPP, basé sur la respiration induite par différents substrats carbonés) comme indicateur de diversité fonctionnelle.

### Résultats

Vers de Terre : Mortalité pour les doses D5-D6. Perte de poids pour les doses D2-D3-D4.

Pas d'activité excavatrice pour la dose D4 et baisse d'activité excavatrice pour les doses D1-D2-D3 (selon les tailles d'agrégats mesurées).

Pas de retour d'activité excavatrice dans les cadres 2D pour la dose D3. Retour de l'activité excavatrice pour les doses D1-D2 au bout de 5 jours.

La limite des effets pour les VdT est donc de 12,5µl de polluant par kg de sol. La limite pour un retour d'activité des VdT (simulant le contexte d'un sol hétérogène, dans lequel les vers pourraient s'échapper de la zone polluée) est de 125µl/kg.

Microrespirométrie: Les indicateurs microbiens (biomasse active, respiration basale,  $qCO_2$ ) montrent un effet des doses à partir de la dose D2 et un second palier d'effet aux doses D4 ou D5 (selon le groupe de TP). La dose D6 inhibe très fortement les communautés microbiennes. Les écarts types sont variables et liés 1-aux qualités de manipulation (en particulier, la distribution des sols par les étudiants) 2-aux agrégats des sols qui étaient plus petits (donc distribution plus homogène) dans les échantillons plus fortement pollués 3-aux intensités d'effets : plus l'intensité est importante (doses élevées), plus la variabilité de respiration est « tassée ».

La limite des effets pour les biomasses et activités microbiennes est aussi de 125µl de polluant par kg de sol, correspondant à la limite du retour de l'activité excavatrice des vers de terre.

### Conclusion

Ces bioessais ont mis en évidence des effets importants du polluant prélevé dans la nappe sur la survie et les activités d'un modèle d'invertébré et de communautés microbiennes édaphiques d'un sol. Les résultats montrent une cohérence (en terme de sensibilité au polluant) entre le comportement des vers de terre et les activités microbiennes édaphiques. Ces résultats suggèrent ainsi des perspectives de travaux scientifiques sur la correspondance de bioindicateurs écotoxiques au sein d'un réseau trophique. Cependant ces bioessais sont basés sur une contamination artificielle de surface et homogène d'un sol dans lequel ont été introduits des vers de terre, ce qui est très différent de la réalité de contamination du milieu : dans le cadre de ces TP, nous avons donc étudié l'écotoxicité potentielle pour un sol de ce polluant de la nappe.

Ces travaux pratiques appliqués à un contexte réel et associant des sorties de terrain et des manipulations en laboratoire ont l'intérêt pédagogique d'impliquer les étudiants et de les interpeller sur les questions d'écotoxicologie.

## **Enseignements tirés de la comparaison des résultats analytiques entre deux campagnes du RMQS, en Région Centre**

**BOULONNE Line<sup>1</sup>, LOUIS Benjamin<sup>1,2</sup>, SABY Nicolas<sup>1</sup>, RATIE Céline<sup>1</sup>, PROIX Nicolas<sup>3</sup>, RICHARD Antoine<sup>3</sup>, JOLIVET Claudy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>: INFOSOL, INRA, 2163, avenue de la Pomme de Pin CS 40001 Ardon 45075 ORLÉANS cedex 2 - France,

line.boulonne@orleans.inra.fr, nicolas.saby@orleans.inra.fr,

celine.ratie@orleans.inra.fr, claudy.jolivet@orleans.inra.fr

<sup>2</sup>: AGROCAMPUS OUEST, Centre de Rennes, 65, rue de Saint-Brieuc CS 84215 35042 RENNES cedex –France, benjamin.louis@agrocampus-ouest.fr

<sup>3</sup> : Laboratoire d'Analyses des Sols, INRA, 273, rue de Cambrai 62000 Arras – France, antoine.richard@arras.inra.fr, nicolas.proix@arras.inra.fr

Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) est l'un des programmes principaux mis en œuvre par le GIS Sol et coordonnés par l'Unité InfoSol. Ce programme a été conçu pour évaluer l'état des sols français de métropole et d'outre-mer, pour détecter de façon précoce l'apparition d'évolutions et pour pouvoir suivre l'état des sols à long terme. Le RMQS s'appuie sur un quadrillage du territoire français, d'une maille de 16 km par 16 km, définissant 2200 points de prélèvements et d'observations. Une première campagne de prélèvements de l'ensemble des points a été réalisée de 2001 à 2009, permettant d'établir un premier état des sols français<sup>1</sup>.

Le lancement de la deuxième campagne du RMQS en 2015 nécessite une réflexion approfondie sur ses modalités de mise en œuvre. Pour répondre notamment à la question du choix des paramètres à analyser, un test a été mis en œuvre en 2010 sur une quarantaine de sites du RMQS en Région Centre, selon des modalités simulant une deuxième campagne.

Concernant les aspects analytiques, un des objectifs du test est de vérifier si un stockage à long terme des échantillons dans les conditions actuelles du Conservatoire<sup>3</sup> est susceptible d'engendrer une évolution significative des paramètres du sol. Un second objectif est de vérifier notre capacité à détecter des évolutions des paramètres du sol, en tenant compte de l'évolution des méthodes analytiques et des incertitudes de mesure. Ces dernières peuvent varier notamment lorsque les modes opératoires ou les techniques d'extraction ou de dosages changent ou encore lorsque l'amélioration de ces techniques entraîne une diminution des seuils de détection ou de quantification.

### **Matériel**

Pour mener cette simulation et pouvoir dissocier les effets du stockage des échantillons, l'évolution des méthodes d'analyse et l'évolution réelle des propriétés des sols, nous avons utilisé trois jeux de données :

- l'analyse physico-chimique initiale des échantillons de la première campagne, réalisée à partir de 2001.
- la nouvelle analyse physico-chimique des échantillons de la première campagne, stockés au Conservatoire des Sols d'Orléans, réalisée en 2010, avec le menu analytique testé en 2010,
- l'analyse physico-chimique des échantillons prélevés lors de la campagne test, réalisée en 2010.

Les agriculteurs ont été enquêtés quant à leurs pratiques durant l'intervalle entre les 2 campagnes pour connaître les changements de pratiques ou d'occupation pouvant avoir une incidence sur les propriétés des sols.

## Méthode

Nous avons dans un premier temps confronté deux à deux ces trois jeux de données sous forme de diagrammes de dispersion simples afin de vérifier la concordance ou les écarts entre les séries. Dans un second temps, nous avons intégré à cette comparaison les incertitudes associées aux résultats analytiques fournis par le laboratoire d'analyse de sols lorsqu'elles étaient disponibles. Enfin nous avons utilisé un modèle de comparaison linéaire pour tester les séries entre elles. Dans ce modèle  $y = \alpha + \beta x$ ,  $x$  prend les valeurs prises pour une détermination d'une campagne donnée et  $y$  les valeurs prises par la même détermination pour une autre campagne. La méthode utilisée pour estimer la pente  $\beta$  est celle présentée par McAssey and Hsieh (2010)<sup>2</sup>. Ce modèle permet de prendre en compte les incertitudes de mesures que l'on connaît sur les deux variables comparées linéairement. De plus, il est également possible de prendre en compte l'hétéroscédasticité des incertitudes de mesures.

## Principaux résultats

### *Evolution due au stockage et dérive analytique*

La comparaison des résultats analytiques issus des échantillons de la première campagne aux deux dates d'analyse met en évidence 3 groupes de paramètres : invariants (teneurs en argiles, carbone et azote totaux, CEC, Ca, Mn, Na, Cd, Co, Ni, Zn totaux), variants sans structure (teneurs en sables fins, Na échangeable, TI total), variants avec un biais systématique positif (Cr, Cu, Fe, K, Al et Mg totaux, Ca, Mg, Mn et K échangeables, bore soluble), avec un biais systématique négatif pour Pb total et teneur en eau résiduelle. Pour le Mn et la teneur en eau résiduelle, l'origine du biais est l'évolution de l'échantillon au stockage, et pour le Cr, un changement dans la méthode de minéralisation.

### *Evolution in situ*

La détection d'une évolution possible in situ a été réalisée par la comparaison des analyses réalisées sur les échantillons de la première campagne en 2010 et celles des prélèvements de 2010, ce qui permet de nous affranchir des biais liés aux changements de méthode.

Premier constat, les teneurs totales ont peu ou pas évolué dans l'intervalle de temps écoulé entre les deux campagnes. D'autres paramètres tels que le carbone organique, l'azote total, le phosphore assimilable et le pH sont plus sensibles aux changements de pratiques. Un travail reste à mener pour discriminer l'évolution réelle, des incertitudes analytiques et à la relier à des changements de pratiques.

Pour un certain nombre d'éléments analysés, on observe une variation plus importante des analyses des échantillons de sub-surface par rapport aux échantillons de surface, entre les 2 séries de mesures. C'est le cas par exemple pour la fraction « argile », les éléments majeurs totaux Fe, Al, Mg, et les éléments traces totaux Cd, Co, Ni, Zn. Ces écarts plus importants dans le composite de sub-surface pourraient être liés à une variabilité spatiale de ces éléments plus importante dans cette couche de sol non travaillée qu'en surface.

<sup>1</sup> Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (2011). L'état des sols de France. Paris, FRA

<sup>2</sup> McAssey M.P. and Hsieh F., 2010. Slope estimation in structural line-segment heteroscedastic measurement error models. *Statistics in Medicine*, 29, 2631-2642.

<sup>3</sup> Ratié, C., Richer de Forges, A., Berché, P., Boulonne, L., Toutain, B., Saby, N., Chenu, J.-P., Laloua, D., Ortolland, B., Tientcheu Nguenkam, M.-E., Soler-Dominguez, N., Jolivet, C., Arrouays, D. (2010). Le Conservatoire des Sols : la mémoire des sols de France. *Etude et Gestion des Sols*, 17 (3), 263-273.

## Validation interlaboratoire d'un nouveau test végétal normalisé ISO pour mesurer la phytodisponibilité environnementale des éléments traces

**BRAVIN Matthieu N.<sup>1</sup>, LEMAL Laure<sup>2</sup>, CAZEVIEILLE Patrick<sup>2</sup>, CHEVASSUS-ROSSET Claire<sup>2</sup>, MONTES Mélanie<sup>2</sup>, MARGER Jean-Luc<sup>2</sup>, ARNAL Didier<sup>3</sup>, HINSINGER Philippe<sup>3</sup> et DOELSCH Emmanuel<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> : CIRAD, UPR Recyclage et risque, Saint-Denis de la Réunion,

matthieu.bravin@cirad.fr

<sup>2</sup> : CIRAD, UPR Recyclage et risque, Montpellier

<sup>3</sup> : INRA, UMR Eco&Sols, Montpellier

<sup>4</sup> : CIRAD, UPR Recyclage et risque, Aix-en-Provence

### Introduction

Les travaux du groupe de travail de l'ISO « Biodisponibilité des contaminants dans les sols » ont abouti en 2008 à un consensus international sur le concept de biodisponibilité et ses applications méthodologiques (ISO 17402). En distinguant la disponibilité environnementale, la biodisponibilité environnementale et la biodisponibilité toxicologique, cette norme a proposé un état de l'art sur les méthodes actuellement normalisées pour la mesure ou l'estimation de la biodisponibilité des contaminants dans les sols.

Pour ce qui concerne l'évaluation de la biodisponibilité des éléments traces pour les plantes (i.e. phytodisponibilité), de nombreuses méthodes physico-chimiques permettent de mesurer la disponibilité environnementale tandis que quelques méthodes biologiques (i.e. biotests) sont également proposées pour mesurer la phytodisponibilité toxicologique (i.e. phytotoxicité). En revanche, aucun biotest (ISO ou OCDE) n'est actuellement normalisé pour évaluer la phytodisponibilité environnementale, i.e. le transfert depuis le sol et la bioaccumulation dans la plante des éléments transferts. Pour pallier à ce manque, un nouveau biotest, le RHIZOtest, a été développé dans le cadre des projets NormaRHIZO (ANR, 2010-2013) et RHIZOlab (ADEME, 2012) dans l'optique de sa normalisation ISO.

La présente communication a pour objectif de présenter la validation du RHIZOtest par un test interlaboratoire international qui a constitué l'ultime étape de la procédure de normalisation.

### Matériel et méthodes

Dans sa version normalisée (ISO/DIS 16198), le RHIZOtest est déployé en deux étapes successives (Fig. 1). Durant la première étape (i.e. pré-culture), les semences sont mises à germer puis les plantules sont cultivées en hydroponie pendant deux semaines afin de permettre le développement d'une biomasse suffisante ainsi que d'un tapis racinaire plan, dense et homogène recouvrant la totalité de la toile en polyamide qui le sépare de la solution nutritive. Durant la seconde étape (i.e. culture test), le tapis racinaire est mis en contact pendant huit jours avec une couche de sol de 6 mm d'épaisseur, le tapis racinaire restant physiquement séparé du sol par la toile en polyamide. Les plantes sont enfin récoltées et la concentration en éléments traces accumulés dans les plantes est mesurée.

L'essai interlaboratoire réalisé en 2012 a consisté à faire utiliser le RHIZOtest par huit laboratoires pour cultiver trois espèces végétales (chou : *Brassica oleracea* ; fétuque : *Festuca arundinacea* ; tomate : *Lycopersicon esculentum*) sur quatre sols présentant des propriétés physico-chimiques et des niveaux de contamination variés (Tab. 1). Les éléments traces mesurés dans la plante ont été : As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn. Les paramètres biologiques évalués ont été la concentration en éléments traces dans les parties aériennes et racinaires ainsi que le flux de prélèvement de chaque élément trace par la plante entière. La répétabilité (i.e. variabilité intra-laboratoire) et la reproductibilité (i.e. variabilité inter-laboratoire) de chaque paramètre biologique ont été déterminées d'après la norme ISO 5275-2.

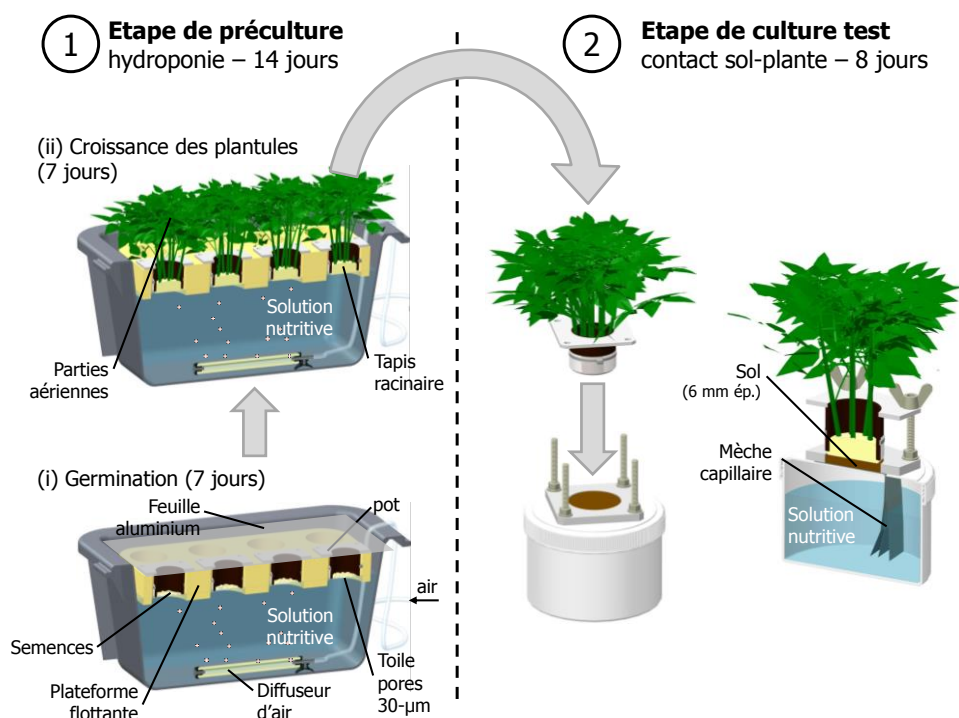


Fig. 1. Procédure expérimentale du RHIZOtest en deux étapes (préculture et culture test)

## Résultats et discussion

Sur près de 3500 données obtenues pour chaque paramètre biologique mesuré, les flux de prélèvements ont présenté un pourcentage de valeurs aberrantes (5 %) deux fois inférieur à celui présenté par les concentrations. La distribution des valeurs aberrantes n'a pas pu être clairement reliée à un laboratoire, à un sol ou un élément trace particulier. Ces résultats tendent à montrer que la reproductibilité et la répétabilité du RHIZOtest sont bonnes, en particulier pour la mesure de flux de prélèvement.

Le coefficient de variation moyen des mesures de concentrations et de flux de prélèvement ont été comprises entre 22 et 32 % pour la répétabilité et entre 47 et 61 % pour la reproductibilité. Les plus forts coefficients de variation ont été obtenus pour Pb, en lien avec de possibles problèmes de contamination d'échantillons lors de l'analyse.

Enfin, une méthode statistique de classification des sols a été mise en œuvre pour chaque laboratoire sur les flux de prélèvement. Sur les huit laboratoires, sept ont classés les sols dans le même ordre, i.e. sol 4 > sol 3 > sol 1 > sol 2, alors que le huitième laboratoire a seulement inversé les sols 1 et 2. Ainsi, ce résultat met en évidence la capacité du RHIZOtest à discriminer la phytodisponibilité des éléments traces entre différents sols.

Tab. 1. Principales propriétés physico-chimiques des quatre sols utilisés au cours du test interlaboratoire

	Texture			pH <sub>eau</sub>	Corg g kg <sup>-1</sup>	Concentrations totales en élément trace						
	S g kg <sup>-1</sup>	L g kg <sup>-1</sup>	A g kg <sup>-1</sup>			As	Cd	Cr	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Ni	Pb	Zn
Sol 1	740	102	158	7,7	13	14	1,7	90	98	32	163	432
Sol 2	561	322	117	6,2	13	24	0,5	33	453	14	215	74
Sol 3	550	337	113	5,9	25	10	4,2	38	24	12	590	429
Sol 4	527	311	162	6,7	41	203	100	109	388	131	131 340	1 172

## Conclusion

Fort de cette validation interlaboratoire, la version finale (FDIS) de la norme décrivant la méthode RHIZOtest a été soumise en février 2014 et devrait être publiée dans le courant de l'année.

## Dynamique des échanges de polluants à l'interface Sol-Air. Etudes en Laboratoire et sur Sites pollués.

DAVID Bernard <sup>1\*</sup>, BESSE Julie <sup>1</sup>, SUPTIL Joel <sup>1</sup>, DALLEAU Nicolas <sup>2</sup>,  
BRULFERT Guillaume <sup>3</sup>

<sup>1</sup> : Université de Savoie, Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement,  
73 376 Le Bourget du Lac - France, \* [bernard.david@univ-savoie.fr](mailto:bernard.david@univ-savoie.fr)

<sup>2</sup> : Air Rhône-Alpes, Pôle de Grenoble, 44 avenue Marcelin Berthelot, 38 100  
GRENOBLE, [NDalleau@air-rhonealpes.fr](mailto:NDalleau@air-rhonealpes.fr)

<sup>3</sup> : Air Rhône-Alpes, Pôle de Chambéry, Bâtiment Le Fennec, 19 allée du lac St-  
André, 73 370 Le Bourget du Lac - France, [GBrulfert@air-rhonealpes.fr](mailto:GBrulfert@air-rhonealpes.fr)

Les sites industriels dont la pollution est avérée (HAP, métaux) constituent ils une source d'émission secondaire de micropolluants pour l'atmosphère, au même titre que les sources primaires bien identifiées ? Pour répondre à cette question, des dispositifs expérimentaux de Laboratoire et de terrain permettant la mesure et la quantification de flux de polluants émis par les sols sont présentés. Des bilans entrée-sortie réalisés sur sites permettent d'appréhender le fonctionnement des sols et leur potentiel à émettre ou réceptionner la pollution atmosphérique.

Des études menées en microcosmes de Laboratoire à l'échelle 1/17 par rapport au dispositif de terrain, montrent que le changement d'échelle n'est pas linéaire du fait de la variation des paramètres géométriques des installations. Il a été possible de mettre en évidence la dépendance des émissions en HAP par l'intermédiaire de la constante de partition sol-air  $K_{SA}$ , avec la teneur en matière organique des sols et la température sur une gamme de 10 à 40°C. L'exploitation des données thermodynamiques (enthalpies de changement de phase) issues de l'influence de la température sur les émissions conduit à préciser le mécanisme de transfert des polluants vers l'atmosphère : une désorption du matériau solide suivie soit d'une volatilisation directe soit d'une solubilisation en phase aqueuse puis d'une volatilisation de cette solution.

Des investigations de terrain réalisées sur des sols industriels (ancienne décharge présentant une pollution aux HAPs et un site contaminé par des métaux), sont également présentées. Les résultats montrent une forte saisonnalité des émissions de polluants tels que les HAPs et les métaux. Il est démontré par l'étude des bilans de flux entrées-sorties que les sols constituent bien le réceptacle de la pollution atmosphérique, c'est à dire que l'on enregistre davantage de dépôts que d'émission des polluants. Le printemps en particulier, correspond à la saison où les émissions de HAPs à partir des sols sont maximales. Pour les métaux, la volatilisation estivale depuis les sols se fait majoritairement en phase gazeuse, ce qui n'avait encore jamais été démontré dans la littérature. En revanche, l'hiver favorise la remobilisation des particules chargées en métaux. La comparaison des profils en métaux présents dans les retombées atmosphériques avec ceux des émissions issues des sols, montre l'importance du cycle de l'eau dans les échanges à l'interface sol-air. L'évaporation des eaux de pluie explique en partie la forte remobilisation des polluants.

### Résultats et discussion

#### 1) Etude en microcosme, paramètres influençant les échanges sol-air :

Les études conduites en enceinte climatique sur des microcosmes montrent que le sol peut réémettre des polluants à la fois en phases gazeuse et particulaire. Les émissions gazeuses de HAPs enregistrées sont entre 1 à 10 fois supérieures celles de la fraction particulaire, alors qu'elles sont du même ordre de grandeur pour les métaux (ex. de l'As : 100 ng/m<sup>2</sup>/jour). Il en ressort, vis-à-vis du stockage des polluants dans les sols qu'une partie peut être considérée comme "libre" ou "mobile", et qu'une autre demeure sorbée à la matrice solide, notamment à la matière organique du sol.

Les émissions en phase particulaire sont par ailleurs conditionnées par le vent généré par le pompage, et par l'humidité du sol, tandis que les polluants émis en phase gazeuse dépendent de la température et de l'humidité du sol. La première variable influence la fraction des HAPs associée à la MO du sol et la seconde grandeur influe sur la part "libre" des HAPs présents dans la solution et le gaz du sol. Les polluants se partagent entre ces trois phases, en fonction de leurs propriétés physicochimiques.

## 2) Etude sur sites : cas des HAP et des métaux :

- Une étude réalisée sur le site d'une ancienne décharge devait permettre d'évaluer l'effet du recouvrement d'une partie la décharge par 5 m de remblais, sur les émissions en HAP par les sols. Les mesures montrent bien une réduction des émissions d'un facteur 2 sur la zone recouverte par rapport à la zone non recouverte. Par ailleurs les émissions sont fortement dépendantes des saisons. C'est en hiver où l'horizon de surface est gelé, que les flux de HAPs émis ont été les plus importants. Durant cette saison, les sources d'émissions primaires de HAPs sont nombreuses (chauffage au bois, trafic routier, industries) avec des conditions climatiques stables. Il apparaît donc que les HAPs nouvellement déposés sont rapidement réémis. Les émissions sont également importantes au printemps, une période de forte humidité avec augmentation brutale de la température favorisant l'évapotranspiration, et, minimales en automne lorsque les sols sont saturés en eau et la température faible favorisant le stockage des HAPs dans les sols.

- Sur un ancien site industriel pollué par les métaux, la saisonnalité influence également fortement le partage gaz-particules des métaux (fig. 1). L'été favorise notamment les émissions en phase gazeuse. En hiver la part du particulaire augmente sans toutefois dépassée la fraction gazeuse. Par rapport à la réglementation, certaines teneurs totales (gaz+particules) en nickel, cadmium et arsenic peuvent atteindre les valeurs cibles de la directive Européenne n° 2004/107/CE (seuils d'évaluation maximale). Le mécanisme de volatilisation des métaux est lié, comme pour les HAP, au cycle de l'eau, par l'intermédiaire de la solution du sol.

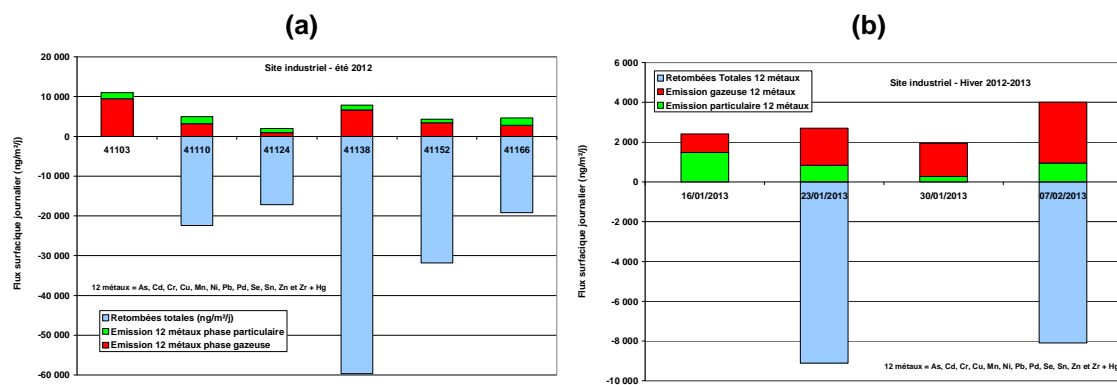


Figure 1. Bilan des flux surfaciques journaliers entrée/sortie des sols du site industriel, (a) en été ; (b) en hiver. En positif : émission à partir du sol, en négatif : enrichissement au niveau du sol par les retombées totales.

## Remerciements

Financement assurés par l'Université de Savoie et Air Rhône-Alpes.



## Etude du devenir de la chlordécone dans les sols volcaniques tropicaux

FERNANDEZ-BAYO Jesus D.<sup>1</sup>, SAMOUËLIAN Anatja<sup>1</sup>, SAISON Carine<sup>2</sup>, GENIEZ Chantal<sup>2</sup>, HUTTEL Olivier<sup>1</sup>, NEGRO Sandrine<sup>1</sup>, BERNS Anne<sup>3</sup>, VOLTZ, Marc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : INRA UMR LISAH 2, place Pierre Viala, F-34060 Montpellier

<sup>2</sup> : IRD UMR LISAH 2, place Pierre Viala, F-34060 Montpellier

<sup>3</sup> : Forschungszentrum Juelich GmbH, IBG 3, Juelich, Allemagne

### Introduction

Le transfert de produits phytosanitaires dans les eaux souterraines et superficielles en milieu tropical est à l'origine des problèmes sanitaires, agronomiques et environnementaux de grande ampleur (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Le cas de la chlordécone (CLD), pesticide organochloré très rémanent et abondamment utilisé pour lutter contre le charançon du bananier entre les années 1972 et 1993 en est un bon exemple. En effet, ce pesticide bien que lié à une pollution ancienne fait toujours l'objet de pollution chronique dans les eaux, les sols (Cabidoche et al., 2009 ; Gourcy et al., 2009) et les organismes vivants (végétaux/animaux) (Coat et al., 2006). Les propriétés physico-chimiques de cette molécule en font une substance très stable, fortement adsorbée sur les phases solides qui se dégrade difficilement dans l'environnement (UNEP, 2006). Ainsi les mécanismes de mobilisation à l'origine du transfert de la chlordécone, des sols vers le réseau hydrographique, est un point crucial pour la compréhension de cette pollution. Nous avons cherché à identifier les processus responsables du devenir de la chlordécone dans les andosols et nitisols, sols qui sont représentatifs de la zone de culture bananière aux Antilles. Ces travaux ont été menés dans le cadre de l'ANR Chlordexco (2008-2012). Ils ont eu pour objectifs spécifiques d'étudier i) la variabilité de rétention de la CLD entre les deux sols, ii) l'évolution des formes de CLD dans le sol après épandage et, iii) le processus de lessivage de la CLD sur sols anciennement contaminés.

### Principaux Résultats

#### Adsorption – désorption de la chlordécone

Les paramètres d'adsorption et de désorption ont été déterminés pour les horizons de surface (0-20 cm) de plusieurs profils d'andosol et nitisol. Les résultats montrent que la capacité d'adsorption ( $K_d$ ) s'échelonne entre 36 et 145 L Kg<sup>-1</sup>, elle est plus élevée en moyenne pour les andosols que pour les nitisols. Pour les deux types de sols, la désorption présente des valeurs d'hystérèse forte, qui indique le caractère fortement irréversible de l'adsorption. Les valeurs de  $K_{OC}$ , entre 1218 et 2547 L Kg<sup>-1</sup>, montrent une relation négative avec la teneur en carbone organique du sol, qui suggère l'influence dans le processus d'adsorption d'autres facteurs tels que la nature de la matière organique (Fernandez-Bayo et al., 2013a)

#### Rétention et minéralisation de la chlordécone après épandage

Des expériences en microcosmes en condition aérobie auxquels a été apporté de la chlordécone marquée au C<sup>14</sup> ont permis d'observer sur une durée de 215 jours une minéralisation significative de la chlordécone ainsi que la répartition de la chlordécone adsorbée entre les fractions soluble, extractible et non-extractible (Fernandez-Bayo et al., 2013b). Les microcosmes ont été constitués de matériaux prélevés dans deux horizons (0-20 cm et 30-60 cm) d'un andosol. Les résultats indiquent qu'il existe une minéralisation de la molécule plus importante dans l'horizon de surface que dans l'horizon sous-jacent. Ceci est en adéquation avec une biomasse microbienne du sol supérieure dans l'horizon de surface (129,9 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup>) par rapport à l'horizon sous-jacent (31,8 mg C<sub>mic</sub> kg<sup>-1</sup>). Néanmoins le

taux de minéralisation diminue d'un ordre de grandeur durant la période d'incubation, ce qui justifie la persistance observée de la CLD dans les sols sur le long terme. Au plan de la distribution de la chlordécone dans les sols, on constate qu'elle varie peu après épandage, que 12% de la chlordécone se retrouve dans la fraction non-extractible tandis qu'environ 75% reste mobilisable par extraction à l'eau ou au solvant.

#### **Mobilité de la chlordécone ancienne en condition de flux**

La mobilité de la molécule a été étudiée à l'aide d'expérimentation d'infiltration sur colonne de sols contaminés non remaniée. Nous avons pu déterminer, pour chaque type de sol étudié la dynamique de lessivage de la chlordécone présente dans le sol, Les premiers résultats montrent que la concentration de chlordécone dans les eaux de percolation est quasi-stable, non dépendante du flux d'écoulement. Les concentrations sont du même ordre de grandeur pour les deux types de sols (entre 5 et 10 µg/l) bien que leurs concentrations initiales en chlordécone, leurs propriétés de sorption et leur comportement hydrodynamique diffèrent.

#### **Discussion-conclusion**

La contamination persistante des eaux et des sols sur les parcelles cultivées en bananes est maintenant reconnue. Malgré des contaminations variables, des propriétés de sorption différenciées ainsi que des propriétés hydrodynamiques contrastées suivant les types de sol (andosol et nitisol), les résultats sur colonne de sols suggèrent qu'un niveau d'équilibre est atteint assurant un relargage constant dans les eaux de drainage. Ces observations sont en cohérence avec le constat d'une proportion importante et stable de chlordécone du sol restant extractible après épandage. Ils indiquent qu'une source importante de la contamination chronique des eaux correspond au flux de percolation à travers les sols comme l'avait estimé Cabidoche et al. (2009). Par ailleurs, les résultats obtenus suggèrent une possibilité de minéralisation de la molécule, qui pourrait être un élément important pour le développement d'approche de bioremédiation. Si quelques travaux avaient déjà fait état d'une possibilité de dégradation de la molécule (Francis et Metcalf, 1984 ; Orndorff et Colwell, 1980) et d'autres avaient démontré la faisabilité de la dégradation d'un point de vue énergétique (Dolfing et al., 2012), aucun n'avait, jusqu'à présent, observé sa minéralisation en conditions aérobies.

#### **Références**

- Cabidoche, et al. 2009. *Environmental Pollution* 157, 1697–1705.
- Coat, S., et al. 2006. *Aquatic Living Resources* 19, 181–187.
- Dolfing, J., et al. 2012. *Environmental Science & Technology* 46, 8131–8139.
- Fernandez-Bayo, J.D., et al. 2013a. *Current Organic Chemistry* 17, 2976–2984.
- Fernandez-Bayo, J.D., et al. 2013b. *Science of the Total Environment* 463, 395–403.
- Francis, B.M., & Metcalf, R.L. 1984. *Environmental Health Perspectives* 54, 341–346.
- Gourcy, L., et al. 2009. *Journal of Contaminant Hydrology* 108, 107–117.
- Lesueur-Jannoyer, M., et al. 2012. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2(1), 45-58
- Orndorff, S.A., & Colwell, R.R. 1980. *Applied and Environmental Microbiology* 39, 398–406.
- UNEP. 2006. UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.2.

## Evaluation de la contamination des sols des zones de culture cotonnière au Togo par les pesticides

Diyakadola Dihéénane BAFAI<sup>1</sup>, Moursalou KORIKO<sup>1</sup>, Gado TCHANGBEDJI<sup>1</sup>, Georges MERLINA<sup>2</sup>, Mohamed SARAHA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP : 1515 Lomé, Togo

<sup>2</sup>Laboratoire CNRS-Ecolab, Campus ENSAT, Avenue de l'Agrobiopole, BP 32607 Auzeville-Tolosane, 31 326 CASTANET-TOLOSAN Cedex, Toulouse, France

<sup>3</sup>Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire, UMR CNRS 6505, Ensemble Universitaire des Cézeaux, Université Blaise Pascal Clermont Ferrand, 63177Aubière Cedex, Clermont Ferrand, France

Correspondance de l'auteur : moursalou7@hotmail.com

### RESUME

La culture du coton est très dépendante de l'utilisation d'intrants et plus particulièrement des pesticides. Elle constitue au Togo la principale culture de rente avec environ 70% des exportations en produits agricoles. Au nombre des pesticides dans la culture cotonnière au Togo, on compte les organochlorés dont l'utilisation a été arrêtée mais qui sont reconnus comme persistants, les triazines, les organophosphorés, les pyréthri-noïdes.

Nous nous sommes intéressés à la région des Plateaux (sud du Togo) comme zone d'étude par rapport à la forte activité cotonnière. Les analyses ont été faites sur des échantillons de sols de culture à l'horizon 0-20 cm. Les résidus de plusieurs pesticides ont été retrouvés dans les sols analysés ; ces résultats montrent une contamination des sols de culture de coton par les pesticides.

Des résidus de pesticides (triazines et organochlorés) ont été recherchés dans des sols des zones de culture de coton au Togo. Les sites retenus sont Kolocopé (CRASH), Gléi, Wahala, Amakpapé.

La caractérisation physico-chimique des sols a été faite : les sols étudiés sont faiblement acides ; le sol de kolocopé a un profil de vertisol, ceux de Gléi et Amakpapé des profils de sols ferrugineux tropicaux et celui de Wahala un profil de sol hydromorphe. Si certaines substances actives n'ont pas été détectées, la plupart ont été retrouvées à des teneurs supérieures aux limites de référence de contamination des sols du Canada et des Pays-Bas. Le sol de Kolocopé se révèle être celui comportant le plus de résidus. Cela peut être expliqué par l'histoire culturelle du centre de recherche et la texture du sol à comportement argileux pouvant retenir les polluants.

Cette étude menée dans des sols de la zone de culture de coton révèle une contamination des sols agricoles par les pesticides organochlorés et par les triazines. Les résultats de la présente étude sont inférieurs aux résultats obtenus dans d'autres pays de la sous-région Ouest Africaine. Néanmoins des risques de pollutions des eaux souterraines et superficielles existent.

**Mots clés** : Pesticides ; sols ; résidus ; organochlorés ; triazines.

## PAHs transfer from atmosphere to soil forests

**NEGRO Sara<sup>1\*</sup>, FANGET Philippe<sup>1</sup>, NAFFRECHOUX Emmanuel<sup>1</sup>, NICOLAS Manuel<sup>2</sup>, SAVOYE Liliane<sup>1, 3</sup>, POULENARD Jérôme<sup>4</sup>**

1 : Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement LCME, Université de Savoie, 73000 Chambéry, sara.negro@univ-savoie.fr, philippe.fanget@univ-savoie.fr, emmanuel.naffrechoux@univ-savoie.fr

2 : Réseau National de suivi à long terme des ECOSystèmes FORestiers RENECOFOR, 77300 Fontainebleau, manuel.nicolas@onf.fr

3 : Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Limniques CARTEL, 74203 Thonon-les-Bains, liliane.savoye@univ-savoie.fr

4 : Laboratoire Environnements, DYnamiques et TERRitoires de la Montagne EDYTEM, Université de Savoie - CNRS, 73000 Chambéry, jerome.Poulenard@univ-savoie.fr

### Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are hydrophobic organic pollutants that are introduced in the atmosphere from pyrogenic and petrogenic sources and are ubiquitously distributed in the environment by wet or dry deposition. They have the potential to accumulate in ecosystems and they have a mutagenic and immunotoxic effects.

PAHs, including 9 carcinogenic ones, can travel long distances before they return to earth in rainfall or particle settling. In gas phase and associated with thoracic (PM10) and respirable (PM2.5) particles, they can penetrate organisms and cause human disease. They can partition between the atmosphere to vegetation : Simonich et Hites (1994) show that  $44 \pm 18\%$  of PAHs emitted into the atmosphere are definitively transferred to soil by vegetation.

It is effectively known that forests have an air filter effect (Matzner, 1981) for organic pollutants. Elevated atmospheric deposition to the forest canopy (Horstmann et al., 1997) is due to the canopies surface roughness, the high leaf area index together with the adsorption in the leaf cuticles (Weiss et al., 2000). Consequently, PAHs tend to accumulate in needles or leaves (Umlauf et al., 1994) and can reach forest soils by litter fall together with direct deposition (Matzner, 1984, Lundén et Lofgren., 1998). These organic pollutants accumulated in soil, with only a small bioavailable fraction is while a large fraction is quite-definitively sequestered due to the strong Interaction with Soil Organic Matter (SOM) or diffusion into nano-scale pores (Cousins et al., 1999). This diffuse soil pollution is therefore a risk for cross contamination of adjacent compartments such as groundwater aquifer (Brorström-Lundén et Lofgren., 1998, Schwarz., 2010).

Based on these considerations, this study intends to assess the role of the forests as a vector of tropospheric PAHs to soil in France. It will allow to estimate the pedogeochemical background for PAH in the rural areas of the whole french territory. 14 RENECOFOR<sup>1</sup> sites from all over France were chosen to investigate PAHs levels in needles, leaves, litter layer, and soil horizons for the last 20 years.

First results show that PAHs concentration in leaves and needles (from 27 to 246 ng/g dw) have the same plot tendency with mass of PAHs emitted in air. Brorström-Lundén et Lofgren (1998) showed that the 1 gramme of spruce needles accumulate the quantity of PAH in about 10 m<sup>3</sup> of air. Further studies are needed to extrapolate PAH concentration in leaves to air pollution and obtained for the first time an historical record of atmospheric PAH concentration in air at the national scale from 1997 to 2011. In addition, high PAH concentrations in leaves in some sites in specific years, seem to be correlated with periods of forest fires. In these case, the steady decline of PAH concentration is punctually interrupted.

Levels in litter layers and soils vary between the different horizons, with higher concentrations detected in the humus layer (1610 ± 435 ng/g dw) and in the first 10cm of the soil (263 ± 89ng/g dw). Similar studies show the importance of depth in the fate of PAHs (Cousins et al., 1999; Krauss et al., 2000; Gocht et al., 2006). For e.g. Krauss et al. (2000) detected 9272 ± 5721 ng/g dw for the humus layer, and 666±707 ng/g dw in the first 5cm of the soil. We found also, a strong correlation between PAHs concentrations and SOM

## References

- Brorström-Lundén E, Löfgren C (1998) Atmospheric fluxes of persistent semivolatile organic pollutants to a forest ecological system at the Swedish west coast and accumulation in spruce needles. *Environ Pollut* 102(1):139–149.
- Cousins, IT, Gevao, B & Jones, KC 1999, 'Measuring and modelling the vertical distribution of semi-volatile organic compounds in soils : I. PCB and PAH soil core data.' *Chemosphere*, vol 39, no. 14, pp. 2507-2518.
- Gocht T., Ligouis B., Hinderer M. and Grathwohl P. (2007). – Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in rural soils based on mass balances at the catchment scale. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26, 591-600.
- Horstmann, M.S. McLachlan Sampling bulk deposition of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. *Atmospheric Environment*, 31 (1997), pp. 2977–2982
- Kerstin Schwartz, Atmospheric pollutants as reactive tracers for identification and quantification of important transport processes in a karst area at the catchment scale, 2010
- Krauss M, Wilcke W, Zech W. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: Depth distribution as indicator of different fate. *Environ Pollut* 110:79–88.
- Matzner et al., 1981, Matzner E., Hubner D., Thomas W., Content and storage of polycyclic aromatic hydrocarbons in two forested ecosystems in northern Germany, *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 144, 1981, 283 – 286
- Matzner, E. (1984): Annual Rates Of Deposition Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Different Forest Ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 21, 425–434
- Simonich, S. L.; Hites, R. A. Importance of vegetation in removing polycyclic aromatic hydrocarbons from the atmosphere. *Nature* 1994, 370, 49-51.
- Umlauf, G., Hauk, H., Reissinger, M., 1994. The distribution of semivolatile organic compounds in conifer needles following gas phase contamination. *Chemosphere* 28, 1689–1699.
- Weiss P, Lorbeer G, Scharf S. Regional aspects and statistical characterisation of the load with semivolatile organic compounds at remote Austrian forest sites. *Chemosphere* 2000;40(9–11):1159–71.

## Acknowledgement

S. Negro thanks ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) & Savoie and Haute-Savoie departments for PhD grant.

## **Modélisation de la spéciation de Cu, Ni, Pb et Zn dans les solutions de sols contaminés**

**PONTHIEU Marie<sup>1</sup>, CANCES Benjamin<sup>1</sup>, CONREUX Alexandra<sup>1</sup>, MARIN Béatrice<sup>1</sup> et POURRET Olivier<sup>2</sup>**

1 : GEGENAA, EA 3795, Université de Reims Champagne Ardenne, CREA, 2 esplanade Roland Garros, 51100 REIMS, marie.ponthieu@univ-reims.fr

2 : HydRISE, Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, 60026 Beauvais cedex, France

### **Introduction**

Pour évaluer le risque environnemental présenté par un sol contaminé en ETM (éléments traces métalliques), les concentrations totales ne sont pas suffisantes. L'étude de la spéciation de ces ETM dans la solution du sol apporte une idée plus précise de la fraction mobile et biodisponible de ces éléments. Pour étudier cette spéciation en solution, différentes techniques sont disponibles, techniques analytiques ou modélisation. L'objectif de ce travail est de comparer deux codes de calcul de spéciation (WHAM 6 et ECOSAT) régulièrement utilisés pour la modélisation du fractionnement des ETM en solution afin d'évaluer leur capacité à décrire dans des solutions de sols plus ou moins contaminés la spéciation de Cu, Ni, Pb et Zn.

### **Matériels et méthodes**

Le site étudié présente des rendosols contaminés en Cu, Ni, Pb et Zn. Ces sols ont été soumis à des sources multiples de pollution (proximité d'une ancienne décharge, épandage d'eaux usées et activités de ferrailage). Suite à une cartographie de surface de la contamination, 3 fosses ont été étudiées plus en détail : la première n'est pas contaminée, contrairement aux deux autres qui présentent des concentrations relativement élevées en ETM ; la deuxième, la plus contaminée, est située à proximité des activités de ferrailage ; la troisième se trouve à proximité d'épandeurs d'eaux usées. La solution du sol a été extraite sur sol sec avec un électrolyte dilué ( $\text{KNO}_3$  à  $5 \cdot 10^{-3}$  mol/L). Pour l'étude de la spéciation des ETM, les interactions ETM-matière organique dissoute ont été considérées comme étant les principales interactions gouvernant la spéciation en solution. Cette spéciation a été évaluée à l'aide de deux modèles NICA-Donnan et Model VI, couramment utilisés pour décrire ces interactions et inclus respectivement dans ECOSAT et WHAM 6.

### **Résultats et discussion**

Le calcul des  $K_d$  (coefficient de partage sol/solution) permet de mettre en évidence des comportements différents suivant les éléments et suivant les fosses. Sur le site étudié, Pb présente le  $K_d$  le plus élevé suivi de Ni, de Zn et de Cu, qui sont donc les éléments les plus mobiles. Les  $K_d$  des quatre éléments étudiés sont pour les trente premiers centimètres nettement plus élevés dans la seconde fosse. Ces résultats sont en accord avec les observations de terrain mettant en évidence dans cette fosse, un sol fortement remanié et en partie remblayé sur ces trente premiers centimètres.

La comparaison de la spéciation en solution des éléments étudiés obtenue avec les deux modèles montre un bon accord pour la description de Cu, Ni et Pb associés à la matière organique dissoute. En revanche, une différence notable est observée pour Zn : les proportions de Zn associé à la matière organique dissoute calculées avec NICA-Donnan

sont supérieures à celles calculées avec Model VI. Un ajustement de la modélisation serait donc nécessaire, ajustement qui pourrait être réalisé après comparaison avec des résultats expérimentaux. Les proportions de métal libre calculées avec les deux approches sont cependant en accord pour les quatre éléments (Figure 1). Cette fraction de métal libre est en effet reconnue comme étant un des paramètres clés pour évaluer les risques de toxicité présenté par un site contaminé. Sur les trois fosses étudiées, les ETM sont peu mobiles ( $K_d$  élevés) et de très faibles proportions de métal libre sont présentes dans la solution du sol. La forte contamination en ETM relevée sur ce site ne semble donc pas présenter, dans les conditions actuelles, un risque majeur pour l'environnement du fait de leur faible mobilité.

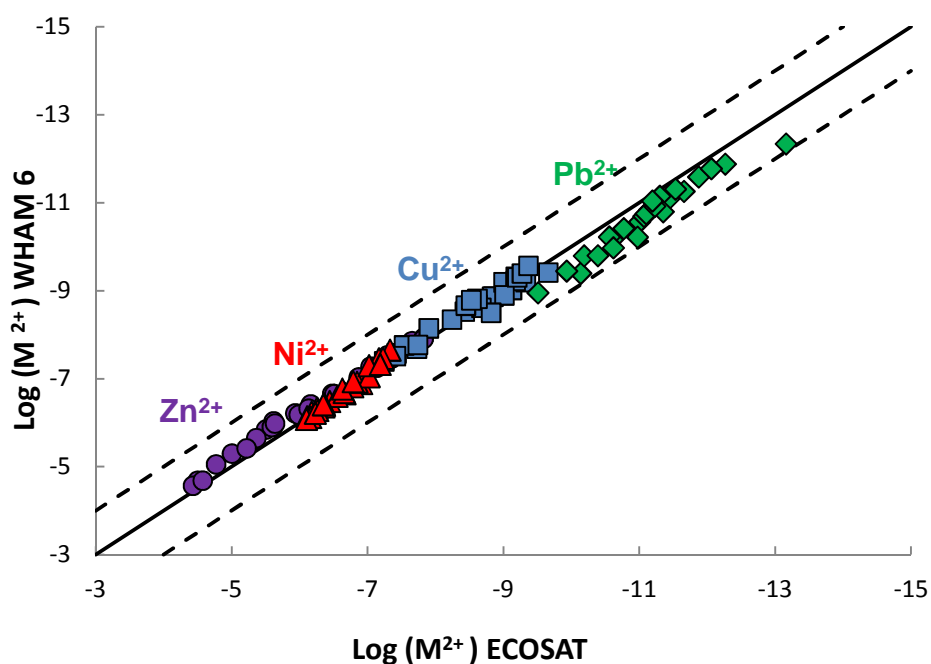


Figure 1 : Comparaison des concentrations en métal libre calculées avec NICA-Donnan (ECOSAT) et Model VI (WHAM 6) exprimées en logarithme. Le trait plein représente la droite de pente égale à 1 et les traits en pointillés représentent une variation d'un ordre de grandeur par rapport à cette droite.

## Évaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux d'Oued Fès et Oued Sebou (Maroc)

KOUCHOU Aziza<sup>1</sup>, DUPLAY Joëlle<sup>3</sup>, ELSASS Françoise<sup>2</sup>, EL GACHTOULI Naima<sup>1</sup>, GHAZI Malika<sup>3</sup>, THOISY-DUR Jeanne Chantal<sup>2</sup>, PERRIN Jean Louis<sup>4</sup>, CHAHINIAN Nanée<sup>4</sup>, BELLARBI Meriém<sup>1</sup>, RAIS Naoual<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : FST, USMBA, Route d'Imouzzer, BP 2202, 30000 Fès, Maroc, [kouchouaziza@gmail.com](mailto:kouchouaziza@gmail.com)

<sup>2</sup> : UR 0251 PESSAC, INRA, RD10, 78026 Versailles, France, [françoise.elsass@versailles.inra.fr](mailto:françoise.elsass@versailles.inra.fr)

<sup>3</sup> : UMR 7517 LHyGeS, CNRS/UdS, 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg, France, [jduplay@unistra.fr](mailto:jduplay@unistra.fr)

<sup>4</sup> : UMR HydroSciences, PI Eugène Bataillon – CC MSE, 34095 Montpellier, France, [perrin@msem.univ-montp2.fr](mailto:perrin@msem.univ-montp2.fr)

**Introduction :** « Le plan Maroc Vert » place l'irrigation comme pivot principal dans le développement agricole et socio-économique du pays. Les principaux problèmes caractérisant la situation de l'irrigation au Maroc aujourd'hui sont liés à la dégradation de la qualité des ressources en eau vu l'insuffisance voire parfois l'absence du traitement des eaux usées. Dans la région de Fès-Meknès, la plaine de Saïss, riche en sols fertiles est amenée à connaître une grande extension de l'irrigation pendant les mois d'été où les précipitations deviennent rares. Cette zone est affectée d'une façon alarmante par la croissance démographique et industrielle de l'agglomération de Fès, qui participe de 40% à la pollution de l'oued Sebou par l'intermédiaire de l'oued Fès (ABHS, 2008) ; cela engendre une pollution organique et inorganique des eaux de surface. La pollution drainée le long des deux oueds est transférée dans les sols à travers les eaux d'irrigation et par suite menacent la biodiversité et les cultures. Des mesures faites par l'Agence de Bassin en 2003-2004 (ABHS, 2008), intégrant 32 unités industrielles de tanneries, ont montré que la charge polluante en chrome est de 68 tonnes par an. Ainsi des teneurs élevées en chrome ont été mesurées dans ces eaux de surface par Perrin et al. (2014).

**Objectifs :** Notre étude se propose d'évaluer le degré de contamination des sols, irrigués par l'oued Fès et l'oued Sebou, par les éléments traces métalliques (ETM), notamment le cuivre, le nickel, le chrome, et le zinc. Cinq sites sélectionnés avant et après la confluence des deux oueds, ont fait l'objet d'une étude physico-chimique et pédologique ; le site SAM situé en amont de la confluence sur la rive de l'oued Sebou est pris comme témoin (Fig.1).

**Résultats et discussion :** Le climat est semi-aride méditerranéen à saisons contrastées ; la pluviométrie mensuelle moyenne sur 30 ans varie de quelques mm (juin à septembre) à près de 60 mm (décembre à avril). Les sols sont des limons carbonatés riches en matière organique. Leur composition est homogène, riche en silicium, calcium, aluminium, et en fer,

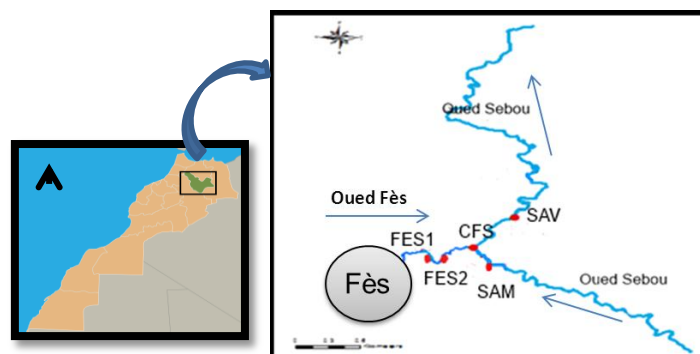


Figure 1 : Sites d'échantillonnage dans la région de Fès (Plaine de Saïss, Maroc).



Tableau1 : Teneurs moyennes en ETM (mg/kg) dans les sols analysés en 2013.

Élément	FES1	FES2	SAM	CFS	SAV
Cr	56±15	102±101	52±5	53±18	66±17
Cu	36±11	191±124	22±12	17±3	30±13
Ni	95±33	38±10	45±11	53±23	28±5
Zn	106±30	260±78	73±57	53±19	92±20

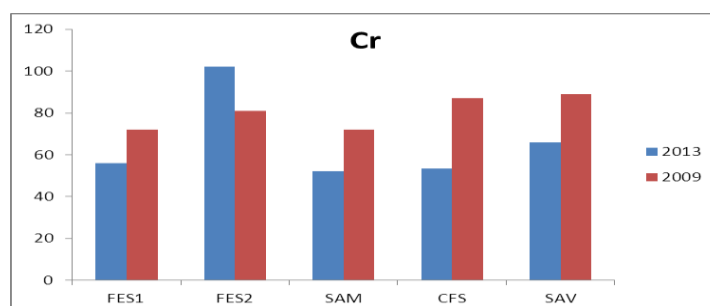


Figure 2 : Comparaison des teneurs moyennes en Cr total (mg/kg) entre 2009 et 2013.

ce qui reflète la minéralogie à dominante de quartz, carbonates et phyllosilicates. Les teneurs moyennes en ETM dans les sols irrigués comparées aux valeurs du sol témoin SAM confirment que les éléments Cr, Cu, Ni, et Zn peuvent être considérés comme des polluants métalliques issus des eaux usées de la ville de Fès (Tableau1). D'après les teneurs de 2009 (Bellarbi, 2013) comparées avec celles de cette étude réalisée en 2013 par le groupe du projet PRAD sur les mêmes sites, on constate qu'il y a une variation temporelle et que les terrains étudiés ne conservent pas leur niveau de contamination en ETM (cas de Cr Fig.2), Cela peut dépendre de plusieurs facteurs : i) le volume d'eau d'oued apporté à chaque irrigation et le nombre d'années pendant lesquelles le terrain a été irrigué en fonction des conditions climatiques de la région ; ii) la composition des eaux qui dépend de la mise en activité ou non des industries ; iii) l'abondance des précipitations hivernales ; iv) la minéralogie et la texture des sols. En effet, les deux sites FES1 et FES2, qui sont les plus affectés par la pollution sous l'effet de leur positionnement en aval des rejets de la médina de Fès et leur irrigation par les eaux usées brutes, ne présentent pas le même niveau de contamination. Or le site FES2 contient plus de 50% de limon alors que le site FES1 présente plus de 50% de sable.

**Conclusions :** L'étude a révélé que certaines teneurs en ETM mesurées dans les sols sont significativement plus élevées au niveau des sols irrigués par l'oued Fès par rapport au sol témoin en amont de l'oued Sebou. Une grande disponibilité des métaux lourds en général et du chrome en particulier dans la solution du sol présenterait un réel risque sanitaire. Les données seront exploitées dans le cadre d'une analyse de cycle de vie, afin d'évaluer les risques de toxicité des ETM dus à l'irrigation des sols de la région de Fès.

#### Références :

- ABHS (2008). Agence du Bassin Hydraulique du Sebou. Traitement des effluents industriels à Fès. Ateliers des 23 et 24 Juin 2008-Paris.
- Bellarbi M. (2013). Disponibilité et distribution des éléments traces métalliques dans les sols contaminés par irrigation : Cas des sols de Fès irrigués par Oued Fès et Oued Sebou. Doctorat national, USMBA-FST.
- Perrin, J.L., Rais, N., Chahinian, N., Moulin, P., Ijjaali, M. (2014) Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco). Journal of Hydrology, Volume 510, p.26-34.

**Remerciements :** Travaux soutenus par le Ministère des Affaires Étrangères - Programme de Recherches en Agronomie pour le Développement (PRAD-TOUBKAL).

## Devenir de résidus de médicaments dans les sols lors de l'épandage de boues d'épuration ayant subis différents traitements

LACHASSAGNE Delphine<sup>1,2</sup>, SOUBRAND Marilyne<sup>1</sup>, CASELLAS Magali<sup>1</sup>,  
DAGOT Christophe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : GRESE (Groupement de Recherche Eau Sol Environnement), EA4330, Université de Limoges, Site de l'ENSIL – 16 rue Atlantis 87068 Limoges France, delphine.lachassagne@ensil.unilim.fr ; casellas@ensil.unilim.fr; dagot@ensil.unilim.fr - Faculté des Sciences et Techniques 123 avenue Albert Thomas 87036 Limoges France, marilyne.soubrand@unilim.fr

<sup>2</sup> : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 20 avenue du Grésillé BP 90406 49004 Angers Cedex 01 France

### Introduction

Les stations d'épuration jouent un rôle majeur dans le transfert des micropolluants vers le milieu naturel. Parmi ces micropolluants, les résidus de médicaments, suscitent un intérêt particulier du fait de leur persistance dans l'environnement et des risques potentiels pour la santé humaine (Ellis, 2006). De nombreuses études se sont intéressées à l'occurrence et au devenir de ces composés dans les stations d'épuration (Deblonde *et al.*, 2011) de même qu'à leur toxicité potentielle sur les organismes aquatiques (Kümmerer, 2009) grâce à des techniques analytiques de plus en plus performantes.

Du fait de leurs propriétés hydrophobes, l'élimination des médicaments dans les eaux des stations d'épuration se fait principalement par sorption sur les boues. Les boues produites extraites et traitées suivant différents processus (épaississement, stabilisation chimique ou biologique, déshydratation) sont principalement valorisées en agriculture par épandage sur les sols (Kelessidis & Stasinakis, 2012). Il est par conséquent essentiel de connaître et de prédire le comportement des micropolluants au cours du traitement des boues, de déterminer leur répartition au sein des différentes fractions de la boue et de comprendre leur devenir dans les sols suite aux épandages.

Dans cette étude, des tests de lixiviation sur colonnes de sols ont été mis en place pour simuler l'épandage de boues ayant subi différents traitement de stabilisation : chimique par chaulage et biologique par digestion anaérobie. Les boues ont été caractérisées avant et après traitement puis épandues sur des colonnes de sol. A la fin des tests de lixiviation, les concentrations en composés pharmaceutiques ont été mesurées d'une part dans les lixiviats et d'autre part dans les sols épandus.

### Matériel et méthodes

Les boues étudiées proviennent du Site Pilote de Bellecombe (SIPIBEL), station d'épuration expérimentale qui traite les effluents hospitaliers séparément des effluents urbains. Les boues activées de la file urbaine ont d'abord été prélevées sur le site, puis un traitement d'épaississement par grille d'égouttage (GDD) a été réalisé à l'échelle du pilote sur le site et enfin, au laboratoire, une partie des boues épaissies a été stabilisée par chaulage et une autre partie par digestion anaérobie. Les boues urbaines chaulées et digérées obtenues ont été caractérisées puis utilisées pour les tests d'épandage sur colonnes de sol.

Les tests de lixiviation en colonne de sol ont été mis en œuvre selon les recommandations du guide OCDE 312 (2004) sur lequel s'appuient également plusieurs auteurs (Oppel *et al.*, 2004 ; Yu *et al.*, 2012). Pour les tests de lixiviation en colonnes de verre (hauteur : 30 cm, diamètre : 5 cm), l'horizon A d'un brunisol sous prairie a été prélevé, tamisé à 2 mm et caractérisé (pH, CEC, %C<sub>org</sub>, minéralogie...). Une solution de CaCl<sub>2</sub> à 0,01M a été employée pour la saturation du sol et la pluie artificielle afin de conserver l'équilibre ionique du milieu. La quantité de boue déposée à la surface du sol dans la colonne a été déterminée selon un

apport régulier de boues lors d'un plan d'épandage, soit 3 tMS/ha/an (ADEME). Un test témoin consistant en la lixiviation du sol sans apport de boue a également été réalisé.

Un suivi temporel des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, Eh, O<sub>2</sub>, turbidité, SUVA<sub>254</sub>, COD) des lixiviats a été effectué et les 11 médicaments appartenant à différentes classes thérapeutiques (carbamazépine, ciprofloxacine, sulfaméthoxazole, acide salicylique, ibuprofène, paracétamol, diclofénac, kétoprofène, éconazole, aténolol, propranolol) ont été dosés selon la technique décrite par Peysson & Vulliet (2013).

En outre, des tests écotoxicologiques ont été réalisés sur les lixiviats obtenus : le test Microtox (NF ISO 11348-3, Mars 2008) et le test sur des Daphnies (« Daphtokit F<sup>TM</sup> Magna » répondant à la norme ISO 6341 1996).

### Résultats et discussion

Les analyses physico-chimiques du sol ont montré que le sol présente un pH légèrement acide (pH=5,6), une CEC de 17 cmol/kg sol, une concentration en Corg de 3,47% et une texture limoneuse.

Dans la phase lixiviée issue de la lixiviation du sol et de la boue chaulée, seul l'ibuprofène est présent à une concentration de 0,1 µg/L. Pour le lixiviats issu de la lixiviation du sol et de la boue digérée, de faibles quantités de propranolol (0,03 µg/L) et de diclofénac (0,15 µg/L) ont été détectées ainsi qu'une plus grande concentration en ibuprofène (0,56 µg/L).

Les résultats des concentrations totales des boues, des sols après épandage, et des lixiviats permettront d'établir un bilan de matières (stocks et flux) sur le devenir des médicaments dans les sols suite à l'épandage de boues d'épuration ayant subis différents traitements.

Par ailleurs, lors de tests de désorption de ces médicaments sur les boues chaulées et digérées menés en parallèle, il a été mis en évidence une désorption de l'ibuprofène des boues digérées nettement supérieure aux autres composés.

Les tests de lixiviation sur colonne de sol avec épandage de boues confirment ainsi la tendance de l'ibuprofène à être désorbé dans le sol et peut être considéré comme un composé persistant pouvant se retrouver dans les eaux souterraines.

Néanmoins, les tests écotoxicologiques réalisés sur les phases liquides obtenues après lixiviation des colonnes de sol avec les boues épandées n'ont révélé aucune toxicité.

### Remerciements

Ce travail a été financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et co-financé par la société Degrémont (Suez Environnement), le projet noPILLS (Interreg IV B Europe nord-ouest) et le projet SIPIBEL.

### Références

- Deblonde, T., Cossu-Leguille, C., Hartemann, P., Emerging pollutants in wastewater: a review of the literature, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 214, 2011, pp. 442-448.
- Ellis, J.B., Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters, *Environmental Pollution*, Vol. 144, 2006, pp. 184-189.
- Kelessidis, A., Stasinakis, A.S., Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries, *Waste Management*, Vol. 32, 2012, pp. 1186-1195.
- Kümmerer, K., The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use—present knowledge and future challenges, *J. of Environmental Management*, Vol. 90, 2009, pp. 2354-2366.
- OCDE (2004), Essai n° 312: Lixiviation sur des colonnes de sol, Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, Section 3, OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264070578-fr
- Oppel, J., Broll, G., Löffler, D., Meller, M., Römbke, J., Ternes, T., 2004. Leaching behaviour of pharmaceuticals in soil-testing-systems: a part of an environmental risk assessment for groundwater protection. *Science of the Total Environment*, Vol. 328, pp. 265-273.
- Peysson, W., Vulliet, E., 2013. Determination of 136 pharmaceuticals and hormones in sewage sludge using quick, easy, cheap, effective, rugged and safe extraction followed by analysis with liquid chromatography-time-of-flight-mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, Vol.1290, pp.46-61.
- Yu, Z., Yediler, A., Yang, M., Schulte-Hostede, S., 2012. Leaching behavior of enrofloxacin in three different soils and the influence of a surfactant on its mobility. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 24, pp. 435-439.

## **Mobilité des éléments traces métalliques dans des sols industriels fortement contaminés de Champagne-Ardenne**

**SCHNEIDER Arnaud, MARIN Béatrice, PONTHEIU Marie, CANCES Benjamin, CONREUX Alexandra, MORVAN Xavier**

GEGENAA, EA 3795, Université de Reims Champagne Ardenne, CREA, 2 esplanade Roland Garros, 51100 REIMS, arnaud.schneider@univ-reims.fr

### **Introduction**

La contamination en éléments traces métalliques (ETM) des sols de certains sites industriels de la Région Champagne-Ardenne constitue un risque environnemental. Il réside principalement dans la mobilité potentielle des ETM et peut conduire à la contamination des eaux superficielles et souterraines et/ou au transfert vers la chaîne alimentaire. Le comportement et la mobilité des ETM sont gouvernés par les conditions de circulation de l'eau dans le sol et par les formes chimiques sous lesquelles les ETM sont présents dans le sol et dans sa solution.

L'objectif de l'étude est de comprendre et de prédire le comportement des ETM dans un site industriel contaminé en plomb localisé dans les Ardennes grâce à différentes approches expérimentales, analytiques et de modélisation.

### **Répartition spatiale des ETM dans les sols de surface**

Une zone d'étude d'environ 11 ha a été définie en prenant en compte la direction des vents, l'occupation du sol et les données antérieures. Des échantillons de surface (5 premiers cm du sol) ont été prélevés systématiquement selon un maillage de 20×20 m sur l'ensemble de la zone. Les 249 échantillons ont ensuite été analysés en laboratoire grâce à un analyseur par fluorescence X portable (FPXRF).

La répartition spatiale des teneurs en ETM et la spatialisation des données par krigeage ont mis en évidence trois zones d'intérêt : une zone au NE de l'usine, une zone au SW de l'usine et une zone le long de la rivière drainant le site (Figure 1). Ces trois zones contaminées principalement en Pb, Cd, Sn et Sb présentent des sols et des occupations du sol différentes : respectivement forêt de feuillus, forêt de conifères et milieu hydromorphe. Les sols acides des fosses situées au NE et au SW de l'usine sont des luvisols rédoxiques. Les sols très acides des fosses situées au NW de l'usine sont des réductisols.

### **Evolution verticale des teneurs totales en ETM dans les sols**

Dans le but de mettre en relation le comportement des ETM avec la nature du sol, le couvert végétal et leurs teneurs dans les sols de surface, 2 fosses ont été ouvertes dans chacune des trois zones : une fortement contaminée ( $[Pb] > 1000 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) et une modérément contaminée ( $[Pb]$  comprises entre 400 et  $1000 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), soit un total de 6 fosses (Figure 1). Les propriétés physiques et chimiques des sols ont été déterminées tous les 5 cm entre 0 et 30 cm puis tous les 10 cm jusqu'en fond de fosse.

Outre le Pb, les teneurs en Cd, Sn et Sb ont également été détectés à des teneurs pouvant être problématique pour l'environnement (respectivement  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $430 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $200 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Quels que soient le type de sol et le couvert végétal (feuillus; conifères ou

hydromorphe), les teneurs pour ces 4 ETM sont proches du fond pédogéochimique au-delà de 15 cm de profondeur. La contamination semble donc limitée à l'horizon organo-minéral de ces sols.

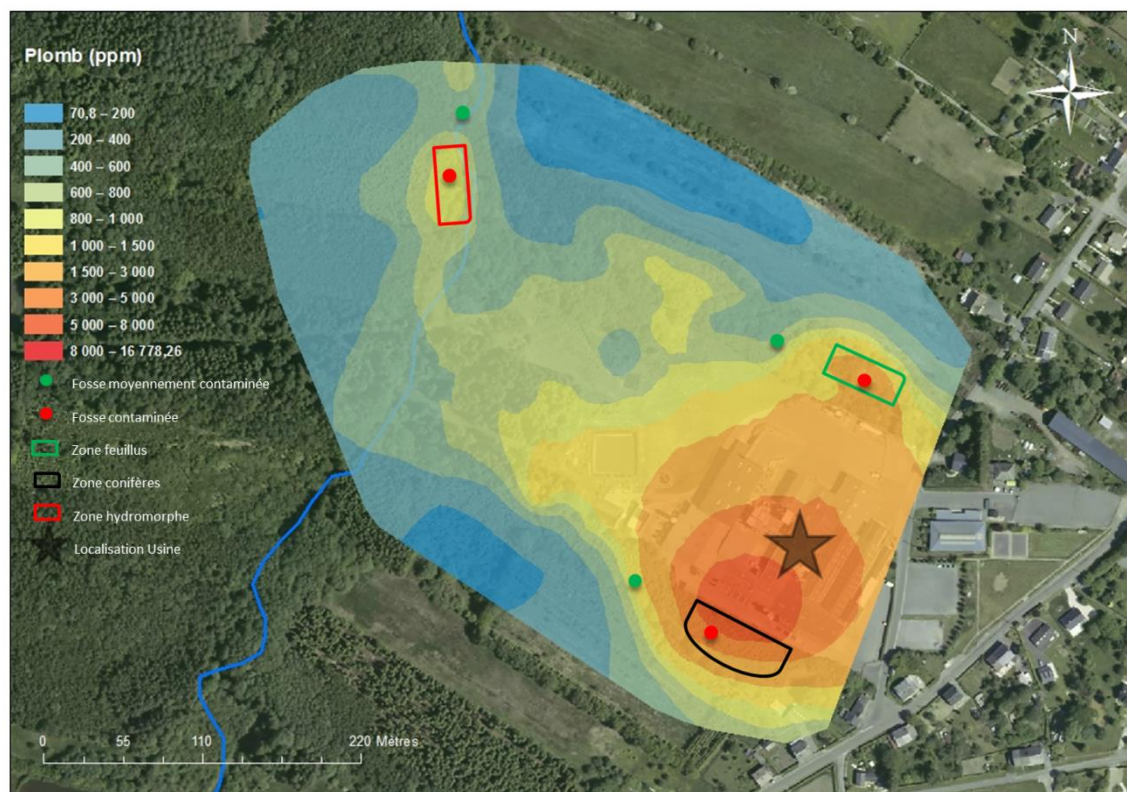


Figure 1 : Spatialisation par krigeage des teneurs en Pb sur la zone d'étude et localisation des fosses pédologiques.

### Mobilité des ETM

La détermination des teneurs en ETM dans la solution du sol a permis de calculer des coefficients de partage (sol/solution) mettant en évidence des comportements variables selon les éléments étudiés et l'occupation du sol.

Parallèlement, les principales phases porteuses des ETM dans le sol ont été identifiées par MEB-EDS dans différentes fractions granulométriques.

Pour évaluer les risques de mobilité potentielle de ces ETM, cette approche expérimentale est complétée avec une modélisation géochimique permettant d'estimer la spéciation des ETM dans le sol et la solution du sol. La modélisation peut constituer un outil pour la prédiction des risques en cas de modifications physico-chimiques du milieu.

## Effet de la phytostabilisation de reblais miniers sur la mobilité de métaux lourds (Zn, Pb et Cd) : le cas des Avinières à St Laurent le Minier.

NAVEL Aline<sup>1</sup>, Jean M.F. MARTINS<sup>1</sup>, Lorenzo SPADINI<sup>1</sup>, Erwann VINCE<sup>1</sup>,  
Sophie SEBASTIANUTTI<sup>1</sup>, Jean-Paul GAUDET<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> : Univ. Grenoble, CNRS, LTHE UMR5564, équipe Transpore, 70 rue de la Physique  
38400 Saint Martin d'Hères, [aline.navel@ujf-grenoble.fr](mailto:aline.navel@ujf-grenoble.fr)

### Abstract

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de l'installation d'un couvert végétal sur la mobilité des métaux lourds tel que le zinc, le plomb et le cadmium. Une approche de colonnes de laboratoire et de lysimètres de terrain (Figure 1) ont été réalisées pour effectuer des simulations de pluie sur du remblai minier végétalisé avec une plante légumineuse (*Anthyllis vulneraria*) et deux graminées (*Festuca* et *Koeleria*), en conditions mono-, bi- ou tri-espèces. Des essais de lessivage à l'eau déminéralisée (correspondant à une année de pluie) sont réalisés tous les 6 mois au cours de la croissance des plantes et de leur cycle végétatif. A chaque essai l'effet du couvert végétal sur les vitesses d'infiltration d'eau, le pH, les concentrations en cations, anions et métaux lourds sont suivis dans les lixiviats récoltés par collecteur de fractions (colonnes) ou manuellement (lysimètres).

Les paramètres géochimiques mesurés évoluent peu au cours d'un même essai de lessivage, quelle que soit la condition de végétalisation considérée (sans plante, 1 espèce, 2 espèce ou 3 espèce). En revanche une évolution temporelle de ces paramètres a pu être mise en évidence au cours des essais de lessivage successifs, en relation avec la croissance des végétaux. En particulier, la vitesse d'infiltration d'eau a augmenté, passant de  $1.10^{-5}$  m/sec à  $2.10^{-5}$  m/sec entre T0 et T18 mois, dans les colonnes et lysimètres végétalisés par rapport aux conditions témoin non végétalisées. Ce résultat indique que les plantes modifient la capacité du remblai à laisser circuler l'eau, probablement par une modification de la structure du sol en lien avec le développement de leur système racinaire. D'autre part, l'évolution temporelle de la concentration en nitrate mesuré dans les lixiviats est surprenante, notamment en présence d'*A. vulneraria* ensemencée seule. Cette légumineuse fixatrice d'azote (nodulée ici par *R. meliloti*) a entraîné l'augmentation de la teneur en azote dans les reblais, qui est totalement éliminé lors des lessivages à l'eau. Au contraire en présence 2 ou 3 espèces (*A. vulneraria* + 1 ou 2 graminées), l'azote fixé n'est plus détecté dans les lixiviats, indiquant que celui est localement intercepté par les racines des autres espèces végétales.. Concernant la mobilité des métaux, nous avons montré que celle-ci est spécifique à leur solubilité. Le plomb est un métal peu soluble, c'est pourquoi aucun effet de la végétation n'a pu être observé, contrairement au zinc et au cadmium, dont les concentrations sont également influencées par la végétalisation du remblai minier. En effet, les concentrations de Zn et de Cd mesurées dans les lixiviats diminuent dans le remblai minier végétalisé, et ce d'autant plus que le nombre d'espèce est important :  $1P < 2P < 3P$ . Cet effet négatif sur la mobilité du zinc et du cadmium est amplifié par l'abondance de plants d'*Anthyllis vulneraria* à la surface du remblai lessivé. Ce résultat montre que le mélange des espèces améliore la rétention des métaux et, de fait, limite leur mobilité et donc les risques de contamination des aquifères lors d'actions de phytostabilisation. .



Cette étude a permis de montrer plusieurs effets positifs de la végétalisation des remblais miniers riches en métaux lourds, et particulièrement le rôle stabilisateur des plantes utilisées. L'ensemencement des plantes améliore progressivement les transferts hydriques au niveau de la zone racinaire ce qui permet d'augmenter leur effet de piège à métaux lourds, qui deviennent ainsi moins mobiles. En plus des effets notoires sur la limitation de l'érosion de surface des sols par la végétalisation, nos travaux montrent que l'installation d'un couvert végétal dans un remblai minier permet aussi de limiter la mobilité des métaux.

Dans le cadre d'une problématique de gestion de sols pollués ces résultats sont à prendre en considération.



Figure 1 : a) Photo des lysimètres de terrain b) Photo d'une colonne de laboratoire végétalisée avec *Anthyllis*.

**Mots Clés :** Phytostabilisation, remblai minier, *Anthyllis vulneraria*, transfert réactif, métaux lourds, colonnes et lysimètres.

## **Impacts de l'origine et du traitement de produits résiduaire organiques valorisés en agriculture sur le devenir et la disponibilité des antibiotiques entrant dans les sols cultivés**

**GOULAS Anaïs<sup>1</sup>, BERGHEAUD Valérie<sup>1</sup>, FERHI Sabrina<sup>1</sup>, DUMENY Valérie<sup>1</sup>,  
NELIEU Sylvie<sup>2</sup>, DESCHAMPS Marjolaine<sup>1</sup>, HAUDIN Claire-Sophie<sup>1</sup>,  
BENOIT Pierre<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : UMR 1091 Environnement Grandes Cultures, INRA-AgroParisTech, équipe Sol, 78850 Thiverval-Grignon, agoulas@grignon.inra.fr

<sup>2</sup> : UR 251 Physicochimie et Ecotoxicologie des Sols d'Agrosystèmes Contaminés, INRA, 78000 Versailles, sylvie.nelieu@versailles.inra.fr

### **Introduction**

Les antibiotiques prescrits en santé humaine et vétérinaire sont retrouvés dans les boues de station d'épuration et les effluents d'élevage dans des gammes de teneurs variables (100-1000  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  matière sèche (MS) ; 3500-9000  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  MS, respectivement). La valorisation agronomique de ces produits résiduaire organiques (PRO) mène à l'introduction chronique de faibles quantités d'antibiotiques et/ou de leurs dérivés dans les sols cultivés avec des impacts possibles sur les micro-organismes (effets sur les fonctions et les communautés, acquisition d'une antibiorésistance avec un risque à long terme de dissémination de celle-ci). Les impacts des antibiotiques sur les micro-organismes dépendent a priori de la fraction d'antibiotiques biodisponible dans le sol. Les traitements des PRO, en particulier le compostage, peuvent diminuer les concentrations en antibiotiques dans les PRO et modifier leur disponibilité au sein de la matrice ainsi que leur devenir dans les sols après épandage. Les objectifs de cette étude sont, à l'aide d'extractions chimiques douces, de cibler et suivre en conditions contrôlées l'évolution de la (bio)disponibilité de deux antibiotiques introduits dans un sol cultivé lors de l'apport de deux PRO (compost de boue et de déchets verts (DVB), fumier de bovin (FUM)), puis dans un second temps, de mettre au regard de l'évolution de la fraction (bio)disponible des mesures biologiques ciblant les effets des antibiotiques sur les micro-organismes du sol.

### **Matériels et méthodes**

Deux antibiotiques ont été sélectionnés dans cette étude : le sulfaméthoxazole (SMX) et la ciprofloxacine (CIP). Une incubation de mélanges sol (5 g MS) / PRO (0,15 g MS ; DVB ou FUM) a été mise en place durant 28 jours, après dopage du PRO par un antibiotique marqué au carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ -SMX : 0,74 mg/kg MS ;  $^{14}\text{C}$ -CIP : 4,97 mg/kg MS). La minéralisation des antibiotiques et celle de la matière organique ont été suivies au cours de l'incubation par les mesures du  $^{14}\text{C}$ -CO<sub>2</sub> et du C-CO<sub>2</sub> total formés, respectivement. La (bio)disponibilité de chacun des antibiotiques a été évaluée dans les mélanges sol/PRO à trois dates à l'aide d'une extraction avec différentes solutions aqueuses pré-sélectionnées. Cette première extraction a été suivie d'une seconde avec un mélange acétonitrile/eau afin d'extraire une fraction plus importante d'antibiotiques et de dérivés. Enfin, la combustion des échantillons secs a été réalisée pour quantifier la fraction de résidus d'antibiotiques non extractibles.



## Résultats : $^{14}\text{C}$ -SMX

Trois extractants différents ont été utilisés pour extraire la fraction (bio)disponible du  $^{14}\text{C}$ -SMX dans les mélanges sol/PRO :  $\text{CaCl}_2$  (chlorure de calcium), EDTA (acide éthylène diamine tétraacétique) et HPCD (2-hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrine). Les fractions extraites par chacune de ces solutions aqueuses ont été contrastées pour les deux modalités DVB et FUM, aux deux dates T0 et T28 jours (Figure 1). La disponibilité du SMX diminue rapidement au cours du temps. Indépendamment du choix de l'extractant, des quantités importantes de résidus non extractibles sont formées à 28 jours. Le choix de l'extractant impacte plus les proportions relatives de résidus extraits par les différentes solutions aqueuses et par le mélange à base d'acétonitrile que la proportion de résidus non extractibles, suggérant bien que ces résidus sont immobilisés de façon non réversible.

La minéralisation du  $^{14}\text{C}$ -SMX au bout de 28 jours est très faible (2% pour DVB, 3% pour FUM) ce qui pourrait être en lien avec la rapide diminution de la biodisponibilité de la molécule dans les mélanges. Par ailleurs, la minéralisation de la matière organique étant plus importante pour la modalité FUM (8% et 26% du carbone organique total apporté par le DVB et le FUM, respectivement), nous formulons l'hypothèse que la stimulation de l'activité microbienne pourrait être à l'origine des quantités plus importantes de résidus non extractibles pour cette modalité.

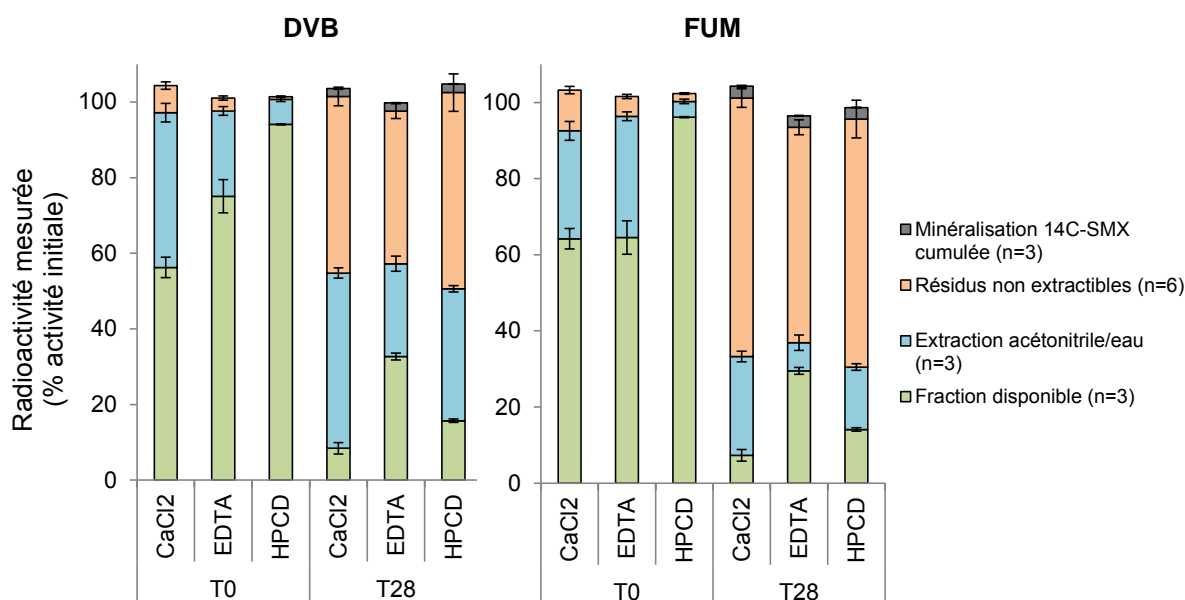


Figure 1. Répartition de la radioactivité du  $^{14}\text{C}$ -SMX en fonction du temps dans les modalités DVB et FUM.

## Perspectives

Des produits de dégradation des antibiotiques seront recherchés dans les différents extraits afin de suivre leur évolution au cours du temps et ainsi caractériser les transformations possibles de l'antibiotique considéré. Parallèlement, des tests biologiques mis en place dans des conditions d'incubation proches permettront d'estimer la relation dose d'antibiotique - réponse des micro-organismes et de confronter les effets à la (bio)disponibilité des antibiotiques et de leurs dérivés dans les mélanges sol/PRO.

## Quid des pesticides présents dans les sols agricoles ? Étude du transfert sol - air

Marie Bretier<sup>1</sup>, J.Besse<sup>1</sup>, B.David<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> : Univ. Savoie, LCME, F-73000 Chambéry, France, \* [bernard.david@univ-savoie.fr](mailto:bernard.david@univ-savoie.fr)

Mots clés : volatilisation, pesticides, sols, phase gazeuse, phase particulaire.

Une pollution par les pesticides de sols agricoles (maïs, poirier, noyer) situés au niveau du bassin versant du Lac du Bourget (Savoie), et, de sol de montagne (Massif des Bauges) a été expérimentalement constatée. L'étude des profils en pesticides dans les sols met en évidence la présence de nombreux composés spécifiques de chaque type de culture, en plus ou moins fortes concentrations (de 14 à 30 µg/kg sol sec pour la somme des pesticides analysés). Certains composés comme le 4-4'DDT, l'heptachlore, l'endrine et l'endosulfane I sont interdits de commercialisation et d'utilisation en France depuis respectivement 1972, 1987, 1992 et 2007. Ceci démontre que les sols constituent un puits pour ce type de composés, aussi bien pour des pratiques agricoles anciennes, qu'actuelles. Par ailleurs, la présence de pesticides en milieu de montagne éloignés de toutes sources de pollution anthropique directe, démontre que des apports atmosphériques locaux et régionaux se produisent. La littérature explique ce transport par l' « effet sauterelle », c'est à dire par la succession de cycles de volatilisation et de déposition. Ces apports ne sont malheureusement pas rares dans les Alpes d'après la littérature. Les questions majeures qui se posent actuellement, sont :

- Quels sont les principaux paramètres physicochimiques des polluants et des sols gouvernant le phénomène de volatilisation des pesticides (nature du sol, température, humidité) ?
- Quelle est la part du processus de réémission de ces composés par rapport à celui des retombées sèches et humides sur ces mêmes sols ?
- Par quel mécanisme se fait la volatilisation ?
- Est-on capable de prédire des épisodes de pollution atmosphérique en pesticides ?

Une méthodologie est proposée permettant de quantifier les flux de pesticides émis par les sols, grâce à la mise en œuvre d'une chambre de volatilisation couvrant une surface de 0,5 m<sup>2</sup>. L'analyse des phases gazeuses et particulaires émises est rendue possible par le dispositif, ce qui n'a encore jamais été réalisé dans la littérature. L'influence de la température et de l'humidité sur la volatilisation est examinée. Les résultats expérimentaux sont interprétés à l'aide des constantes de partage sol/gaz et sol/particules.

Finalement, l'impact environnemental du phénomène de volatilisation des composés organiques semi-volatils sera discuté au regard des niveaux d'exposition des populations concernées par les épandages de pesticides.

## Caractérisation des risques de contamination de deux sols tropicaux par les éléments traces métalliques en contexte de recyclage des produits résiduels organiques

HODOMIHOU N. Richard<sup>1</sup>, FEDER Frédéric<sup>1</sup>, AGBOSSOU K. Euloge<sup>2</sup>, DOELSCH Emmanuel<sup>3</sup>, AMADJI L. Guillaume<sup>2</sup>, N'DOUR-BADIANE Yacine<sup>4</sup>, CAZEVIEILLE Patrick<sup>3</sup>, CHEVASSUS-ROSSET Claire<sup>3</sup> et MASSE Dominique<sup>5</sup>

<sup>1</sup> : CIRAD, UPR 78 « recyclage et risque », Campus Bel-Air, BP 1386, CP 18524, Dakar, Sénégal, [richard-nounagnon.hodomihou@cirad.fr](mailto:richard-nounagnon.hodomihou@cirad.fr) ; [frederic.feder@cirad.fr](mailto:frederic.feder@cirad.fr)

<sup>2</sup> : Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, BP 526, Cotonou, Bénin, [agbossou.euloge@yahoo.fr](mailto:agbossou.euloge@yahoo.fr) ; [gamadji@yahoo.fr](mailto:gamadji@yahoo.fr)

<sup>3</sup> : CIRAD, UPR78 « recyclage et risque », Avenue Agropolis, 34398, Montpellier, France, [doelsch@cirad.fr](mailto:doelsch@cirad.fr)

<sup>4</sup> : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, LNRPV, BP 3120, Dakar, Sénégal, [yacine.ndour@ird.fr](mailto:yacine.ndour@ird.fr)

<sup>5</sup> : IRD, UMR 210 Eco & Sols, Campus Bel-Air, BP 1386, CP 18524, Dakar, Sénégal, [dominique.masse@ird.fr](mailto:dominique.masse@ird.fr)

### Introduction

En 2035, près de 50% de la population d'Afrique subsaharienne vivra dans de grandes villes (United Nations, 2012). Cette urbanisation accroît les besoins alimentaires et génère corrélativement des produits résiduels organiques (PRO) d'origine diverses : boues de station d'épuration (B), fientes (F), etc. Dans ce contexte, l'intensification de l'agriculture périurbaine fait recours à une utilisation massive de ces PRO. Si ces pratiques ne sont pas correctement maîtrisées, elles peuvent engendrer des risques de pollution notables (Doelsch *et al.* 2011). En effet, certains PRO présentent des teneurs élevées en polluants notamment les éléments traces métalliques (ETM) tels que Zn, Cu, Cr, Pb, Cd et Ni. Notre objectif est de caractériser les risques de pollution des agrosystèmes périurbains par les ETM, afin d'élaborer des modes alternatifs de gestion pour optimiser la production agricole et limiter les externalités négatives.

### Matériels et méthodes

La région de Dakar (Sénégal) présente une géomorphologie diversifiée. Les sols dominants sont l'arenosol (sur sables dunaires) et le fluvisol (sur calcaire) (IUSS Working Group WRB, 2006). Sur ces sols sont localisés deux bassins maraîchers, respectivement Pikine et Rufisque. L'intensification de l'agriculture périurbaine irriguée s'y pratique en faisant recours à un usage massif des PRO.

Afin de caractériser les risques de contamination en ETM des agrosystèmes périurbains de Dakar, en contexte de recyclage des PRO, la minéralisation potentielle des PRO et de la dynamique de relargage des ETM par la technique DGT (Diffusive Gradient in Thin films) (Zhang *et al.*, 1998) ont été suivies simultanément. La boue et la fiente ont été échantillonnées respectivement à Pikine (STEP) et à Rufisque (poulailler de poules pondeuses), puis séchées à 40°C, broyées à 1 mm. Ces PRO ont été apportés à trois doses (0, 20 et 60 T.ha<sup>-1</sup>) en conditions contrôlées sur l'arenosol et le fluvisol échantillonnés dans les couches superficielles (0-20 cm). Pour chaque sol, 3 répétitions par traitement et 8 dates différées d'incubation (J1, J3, J7, J14, J28, J60, J88 et J180) ont été suivies.

### Résultats et discussion

Les deux PRO (B et F) sont caractérisés par des teneurs élevées en Zn et Cu, respectivement 1003 et 323 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche pour B, et 320 et 21,8 mg.kg<sup>-1</sup> pour F (Hodomihou *et al.*, 2013). Après 180 jours d'incubation, respectivement pour le fluvisol et

l'arénoisol, les taux de minéralisation des mélanges sols+F atteignent 40 à 47 % tandis que pour les mélanges sols+B, ils atteignent 20 à 28 %. Ces minéralisations ont induit au cours du temps des augmentations significatives ( $p < 0,05$ ) des flux de Zn et Cu pour les sols traités avec les PRO comparativement aux sols témoins. Le traitement B à  $60 \text{ T}\cdot\text{ha}^{-1}$  présente les plus forts flux de Cu et Zn vers la solution du sol, suivi de B à  $20 \text{ T}\cdot\text{ha}^{-1}$ , puis de F à  $60 \text{ T}\cdot\text{ha}^{-1}$  et à  $20 \text{ T}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Les flux sont toujours plus importants dans l'arénoisol que dans le fluvisol (figure 1). Selon Mench et Baize, (2004), les types de sols et la richesse en ETM des PRO, conditionnent le niveau de contamination de l'agrosystème.

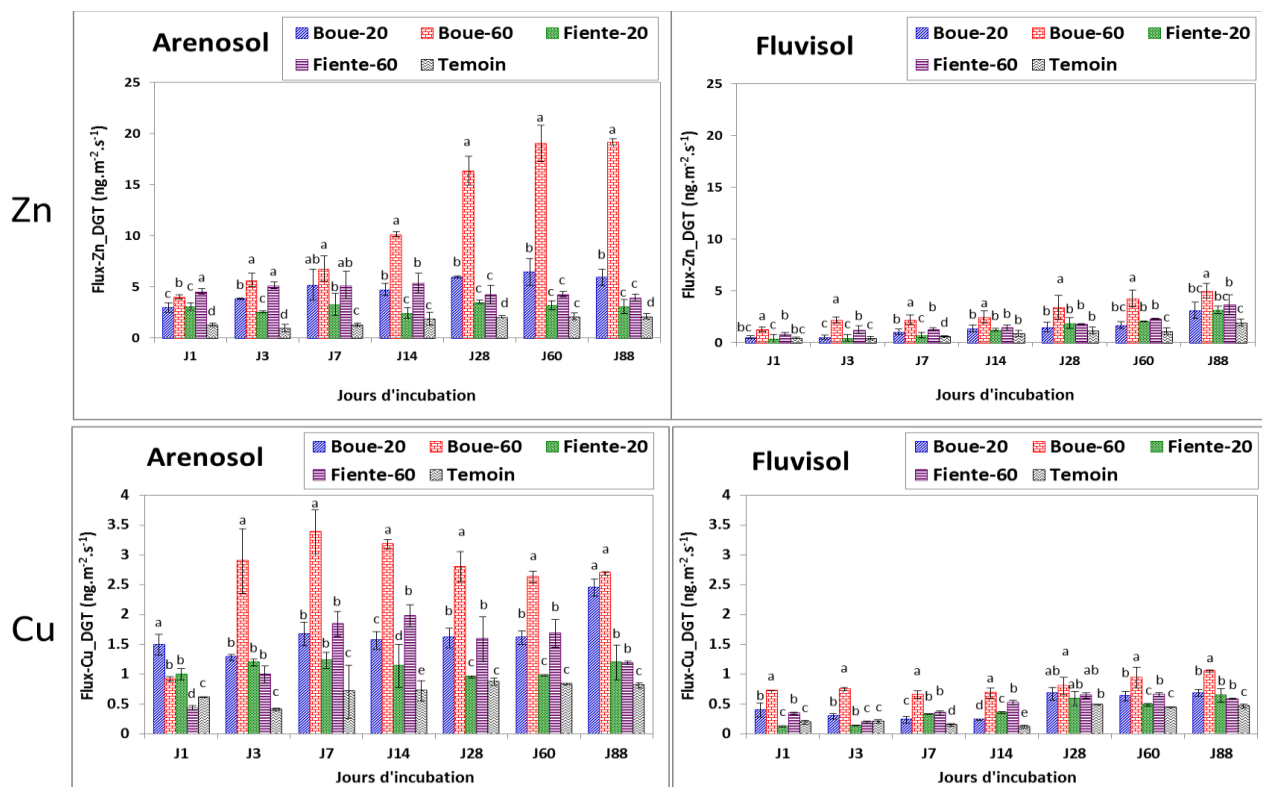


Figure 1 : Evolutions des flux de Zn et Cu disponibles dans les mélanges sols-PRO en fonction du temps d'incubation. Les barres surmontées d'une même lettre au sein d'une même série de date d'incubation ne sont pas différentes les unes des autres au seuil de 5 %.

## Conclusion

Grâce à cette étude, nous démontrons qu'il existe un lien étroit entre la dynamique de minéralisation des PRO et la disponibilité en Cu et Zn. Il sera nécessaire de compléter ces résultats en étudiant la biodisponibilité et la lixiviation de ces éléments en colonnes de sols afin de modéliser leur devenir dans les agrosystèmes. Ainsi, nous proposerons un mode de gestion durable de ces agrosystèmes périurbains de la région de Dakar.

## Références bibliographiques

- Doelsch *et al.* (2011). *Étude et Gestion des Sols*, **18**(3) : 175-186.  
 Mench et Baize (2004). *Courrier de l'environnement de l'INRA*, **52** : 31-56.  
 IUSS Working Group WRB (2006). World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.  
 Hodomihou *et al.* (2013). [http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding\\_2013/RAMIRAN/list%20of%20authors.html](http://www.ramiran.net/doc13/Proceeding_2013/RAMIRAN/list%20of%20authors.html)  
 UN (2012). World Urbanization Prospects - The 2011 Revision - Highlights. New York, Department of Economic and Social Affairs Population Division, United Nations: 50 p.  
 Zhang *et al.* (1998). *Environ. Sci. Technol.* **32**: 704-710.

## **Panorama mondial du patrimoine architectural en terre**

Guillaud Hubert, architecte, professeur, directeur du laboratoire CRAterre-ENSAG.  
[hubert.guillaud@grenoble.archi.fr](mailto:hubert.guillaud@grenoble.archi.fr)

## **Architectures contemporaines en terre**

Jean-Marie Le Tiec, Arnaud Misse et Hugo Gasnier, architectes, chercheurs associés au laboratoire CRAterre-ENSAG.

## **Physique des grains et des argiles appliquée à la construction**

Romain Anger, chercheur associé au laboratoire CRAterre-ENSAG.  
[romain.anger@grenoble.archi.fr](mailto:romain.anger@grenoble.archi.fr)

Sur tous les continents habités, les hommes et les femmes construisent avec les matériaux qu'ils ont sous leurs pieds ou à portée de main. On estime ainsi qu'un tiers de la population mondiale vit dans une construction en terre crue. Ce matériau directement extrait du sol reste l'un des plus utilisés au monde pour bâtir. 15% des œuvres architecturales inscrites sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO sont construites en terre, comme certaines portions de la muraille de Chine, la muraille extérieure du palais de l'Alhambra en Espagne ou encore des villes entières comme Djenné au Mali ou Shibam au Yemen, surnommée la Manhattan du désert. De nos jours, un basculement est en train de s'opérer dans l'imaginaire collectif de l'image d'un matériau traditionnel et alternatif, voire passéiste dans le pire des cas, à l'image du matériau du futur. Les stars mondiales de l'architecture construisent désormais en terre crue. Par un curieux hasard, au moment où se dessinent les bases d'un renouveau de la construction en terre, la science développe des outils théoriques essentiels pour mieux comprendre ce matériau. Les physiques des grains, des argiles (et autres colloïdes) et de l'eau, font partie de terrains d'investigation scientifique particulièrement prometteurs à l'heure actuelle. Eclairant d'un jour nouveau les pratiques des bâtisseurs traditionnels, la connaissance intime de la substance la plus commune qui soit est manifestement porteuse d'innovation pour l'avenir.