

Réseau
« Dynamique et
fonctions des matières
organiques des sols et
des eaux »



du 25 au 28 janvier 2009

Actes du séminaire



Lundi 26 janvier 2009 – Session 1 : MO et changements globaux – Animation : Marie-France Dignac et Delphine Derrien

8h30 – 9h10 : Conférence plénière, Phil Brookes, Rothamsted Research, Angleterre

The mechanism of mineralisation of soil organic matter by the soil microbial biomass – a new hypothesis
Brookes PC, Kemmitt S

9h10 – 9h30 : Sylvie Recous, INRA Reims

Dynamique du sulfate au cours de la décomposition de résidus végétaux dans les sols, et relation avec les minéralisations de C, N
Recous S, Niknahad-Gharmakher H, Machet JM

9h30 – 9h50 : Mathieu Thévenot, INRA Grignon

La dynamique des lignines dans les sols
Thevenot M, Rumpel C, Dignac MF

9h50 – 10h10 : Isabelle Basile-Doelsch, Université de Marseille

Dynamique des MO complexées aux minéraux dans un andosol: de l'échelle du profil à l'échelle moléculaire
Basile-Doelsch I, De Junet A, Derrien D, Balesdent J, Borschneck D, Gleixner G

10h10 – 11h40 : P a u s e c a f é a u t o u r d e s p o s t e r s

11h40 – 12h00 : Denis Angers, Agriculture et Agro-alimentaire Canada et Agrocampus Ouest

Concept de saturation, séquestration du carbone et agrégation du sol.
Angers D

12h00 – 12h20 : Sylvie Derenne, CNRS Paris

Podzolisation et exportation de matière organique dans les eaux noires du Rio Negro (haut-bassin amazonien, Brésil)
Bardy M, Briand C, Derenne S, Allard T, Benedetti M, Fritsch M

12h20 – 12h40 : Jérémy Jacob, Université d'Orléans

Evolution haute résolution de la culture du millet et de l'érosion des sols durant l'âge du Bronze dans les sédiments du Lac du Bourget (Savoie).
Jacob J, Disnar JR, Billaud Y, Arnaud F, Chapron E

12h40 : R e p a s e t b a l a d e d i g e s t i v e ...

Lundi 26 janvier 2009 – Session 2 : MO et biodiversité – Animation : Christian Bechemin et Jérôme Cortet

15h30 – 16h10 : Conférence plénière, Pierre-Alain Maron, INRA Dijon

Diversité microbienne et matières organiques des sols: vers une meilleure compréhension des interactions
Maron PA

16h10 – 16h30 : René Guénon, Université de Marseille

Effets de la récurrence des incendies et des sécheresses en région méditerranéenne sur la matière organique et la diversité microbienne des sols
Guénon R, Dupuy N, Vennetier M, Ziarelli F, Gros R

16h30 – 16h50 : Léo Ruamps, Université de Paris

Utilisation des acides gras phospholipidiques (PLFA) pour l'étude des sites de décomposition de la matière organique dans le système poral du sol
Ruamps L, Nunan N, Chenu C

16h50 – 17h10 : Cédric Le Guillou, AgroCampus Ouest Rennes

Differentiation de la flore fongique au cours de la stabilisation de la structure d'un sol par apports organiques
Le Guillou C, Menasseri S, Le Floch G, Barbier G, Angers D

17h10 – 18h40 : P a u s e c a f é a u t o u r d e s p o s t e r s

18h40 – 19h00 : Noémie Pascault, INRA Dijon

Devenir de résidus de culture de différentes qualités biochimiques après incorporation dans le sol : lien entre la diversité microbienne et l'évolution des résidus
Pascault N, Cecillon L, Lévêque J, Ranjard L, Maron PA

19h00 – 19h20 : Muhammad Usman, INRA Nancy

Effet de l'incorporation de résidus de blé, dans des conditions limitantes en soufre, sur la taille et l'activité des communautés microbiennes du sol impliquées dans la minéralisation du soufre organique
Usman M, Piutti S, Niknahad H, Vong PC, Slezack-Deschaumes S, Recous S, Benizri E

19h20 – 19h40 : Sébastien Gogo, CNRS Orléans

La matière organique enregistre-t-elle les changements récents de végétation ? Le cas d'une tourbière envahie par le bouleau et la molinie
Gogo S, Laggoun-Défarge F, Rivoire E

19h40 : R e p a s e t s o i r é e l i b r e

Mardi 27 janvier 2009 – Session 3 : MO et polluants – Animation : Edith Parlanti et Pierre Benoît

8h30 – 9h10 : Conférence plénière, Céline Tixier, CEMAGREF Nantes

Etude de la disponibilité de divers contaminants organiques hydrophobes (HAP, PCB) dans les sédiments marins: utilisation des échantillonneurs passifs

Tixier C, Tronczyński J, Munsch C, Léauté F, Héas-Moisan K, Olivier N, Truquet I

9h10 – 9h30 : Samuel Legros, CIRAD, La Réunion

Evaluation de l'impact environnemental de l'épandage de lisier de porc par une approche multi-échelle.

Legros S, Doelsch E, Chaurand P, Masion A, Rose J, Feder F, Sansoulet J, Gaudet JP, Proux O, Hazemann JL, Briois V, Saint-Macary H, Bottero JY

9h30 – 9h50 : Gérard Gruau, CNRS Rennes

Pollution des captages en retenue de Bretagne par les matières organiques: quantification des parts allochtones et autochtones

Gruau G, Jardé E, Pierson-Wickmann AC, Gaury N, Briant L, Petitjean P, Hénin O, Crocq A, Gaubert JY

9h50 – 10h10 : Gilles Varrault, Université de Paris

Influence de la matière organique hydrophile sur la spéciation et la biodisponibilité du cuivre et du mercure dans les cours d'eau urbanisés : le cas de la Seine

Varrault G, Pernet-Coudrier B, Muresan B, Tusseau-Vuillemin MH, Mouchel JM

10h10 – 11h40 : P a u s e c a f é a u t o u r d e s p o s t e r s

11h40 – 12h00 : Nicolas Pissot, Université de Savoie

Incidence d'une production de charbon de bois sur les matières organiques émises dans l'atmosphère et diffusées dans les sols

Pissot N, Poulénard J, Besombes JL, Fanget B, Guittonneau S, Saber AI, Deutsch L, Silvestre M, Perrette Y

12h00 – 12h20 : Corinne Leyval, CNRS Nancy

Suivi in situ de l'atténuation naturelle et de l'impact environnemental de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques) dans un sol de friche industrielle en présence ou non de végétation

Leyval C, Beguiristain T, Biache C, Cébron A, Faure P, Masfarau JF, Norini MP, Ouvrard S, Simonnot MO, Vasseur P

12h20 – 12h40 : Maialen Barret, INRA Narbonne

Réactivité des compartiments de matière organique des boues d'épuration envers les Composés Traces Organiques : adsorption

Barret M, Patureau D, Delgenes JP, Carrère H

12h40 : R e p a s e t b a l a d e d i g e s t i v e ...

Mardi 27 janvier 2009 – Session 4 : MO et déchets – Animation : Cécile Miège et Claude Rodier

15h30 – 16h10 : Conférence plénière, Maelen Poitrenaud, Veolia Limay

Les besoins industriels en matières de recherche sur le traitement biologique des déchets

Poitrenaud M, Francou C

16h10 – 16h30 : Sabine Houot, INRA Grignon

La qualité de la matière organique des produits résiduels organiques influence leurs effets sur les sols : synthèse après 10 ans de l'essai QualiAgro

Houot S, Bodineau G, Rampon JN, Michaud A, Peltre C, Annabi M, Cambier P, Benoit P, Dignac MF, Générumont S, Laville P, Haudin CS, Montagne D, Poitrenaud M

16h30 – 16h50 : Dominique Masse, IRD Madagascar

La valorisation agricole des produits résiduels organiques dans les agro-systèmes en Afrique de l'Ouest et à Madagascar

Masse D, Hien E, Rabeharisoa L

16h50 – 17h10 : Patricia Garnier, INRA Grignon

Modélisation de la dynamique de la matière organique pendant le processus de compostage

Zhang Y, Garnier P, Lashermes G, JDoulet J, Francou C, Steyer JP, Houot S

17h10 – 18h40 : P a u s e c a f é a u t o u r d e s p o s t e r s

18h40 – 19h00 : Coralie Biache, CNRS Nancy

Stabilité de la matière organique de sols de cokerie : Impacts de la désorption thermique sur la composition de la MO et sur la répartition des métaux

Biache C, Mansuy-Huault L, Faure P, Munier-Lamy C, Leyval C

19h00 – 19h20 : Alexis Mottet, INRA Narbonne

Caractérisation et estimation d'indicateurs de biodégradabilité anaérobie de boues activées

Mottet A, François E, Steyer JP, Déléris S, Vedrenne F, Carrère H

19h20 – 19h40 : David Kpogbemabou, Université de Poitiers

Procédé de fabrication d'agrocaburants à partir de biomasse « humifiée »

Kpogbemabou D, Lemée L, Amblès A

19h40 : R e p a s e t s o i r é e l i b r e

8h30 – 8h50 : Mathieu Muller, INRA Narbonne-Montpellier

Caractérisation de la matière organique de différents déchets solides par spectrofluorimétrie 3D en phase solide
Muller M, Dudal Y, Deleris S, Steyer JP

8h50 – 9h10 : Edwin Palacio-Barco, Université de Provence

Caractérisation fluorimétrique semi-directe de la matière organique dissoute: application à la détermination des AGV et des composés thiols
dans les boues de station d'épuration et les lixiviats de décharge
Palacio-Barco E, Robert-Peillard F, Boudenne JL, Dudal Y, Coulomb B

9h10 – 9h30 : Chloé De Perre, CNRS Bordeaux

Etude des interactions Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) – Matière Organique Dissoute (MOD) aquatique par Micro-Extraction sur Phase Solide (SPME) et extinction de fluorescence
De Perre C, Le Menach K, Ibalot F, Budzinski H, Parlanti E

9h30 – 9h50 : Thierry Ghislain, CNRS Nancy

La spectrométrie de masse haute résolution (Q-TOF) appliquée à la géochimie organique : mises au point pour l'analyse des micropolluants dans des matrices complexes
Ghislain T, Faure P, Biache C, Michels R

9h50 – 11h20 : P a u s e c a f é a u t o u r d e s p o s t e r s

11h20 – 11h40 : Brigitte Pépin-Donat, CEA Grenoble

RPE et Matière Organique Naturelle (MON): traçage des flux et de la réactivité de la MON sur de larges échelles d'espace et de temps
Pépin-Donat B, Lombard C, Protière M, Poulenard J, Dorioz JM, Mourier B, Dudal Y, Blondel T, Emblanch C, Fanget B, Perrette Y, Delannoy JJ, Miège C

11h40 – 12h00 : Aurore Vergnoux, Université de Provence

Impact quantitatif et qualitatif des feux de forêt sur les substances humiques du sol
Vergnoux A, Domeizel M, Di Rocco R, Guiliano M, Théraulaz F, Doumenq P

12h00 – 12h20 : Samuel Bodé, Université de Ghent, Belgique

Élaboration et validation d'une méthodologie LC-IRMS pour la détermination de $\delta^{13}C$ des sucres aminés dans le sol.
Bodé S, Deneff K, Vermeulen J, Boeckx P

12h20 – 12h40 : Aurore Dissaux

Molécules organiques fossiles issues de la biominéralisation pour la cosmétologie et/ou pharmacologie.
Dissaux A, Bourrat X, Lopez E

12h40 : R e p a s e t a u r e v o i r ...

Liste des posters par session

Session 1 – MO et changements globaux

N°	Poster	Page
1.1	Évolution des stocks de carbone organique d'une gamme de sols prairiaux de semi montagne entre 2002 et 2006. Alvarez G, Andanson L, Vassal N	19
1.2	Influence de la qualité des résidus végétaux sur les cinétiques enzymatiques au cours des premiers stades du processus de décomposition dans les sols. Amin B, Beaugrand J, Chabbert B, Debeire P, Bertrand I	20
1.3	Caractérisation de fractions organiques de sédiments de rivières plus ou moins anthropisés et de l'impact de la biodégradation : intérêt de l'utilisation de la ESI FTICR MS. Auvray I, Berthelin J, Schmitt-Kopplin P, Hertkorn N, Frommberger M	21
1.4	Impact du changement d'utilisation des terres sur la qualité et la stabilisation de la matière organique des sols des systèmes semi-arides du Chaco Argentin. Baptist F, Conti G, Díaz S, Thedevuide C, Rumpel C	22
1.5	Modèles de dynamique du carbone sans microorganisme : quels risques pour prédire en environnements changeants ? Barré P, Barot S, Chenu C, Dignac MF, Eglin T, Garnier P, Girardin C, Guenet B, Leloup J, Neill C, Nunan N, Raynaud X, Ruamps L, Rumpel C	23
1.6	Rôle de la composition biochimique de racines de maïs sur leur décomposition dans le sol à long terme : caractérisation et modélisation avec le modèle Roth-C. Bertrand I, Machinet G, Chabbert B, Recous S	24
1.7	Impact du réchauffement climatique sur la dynamique de la matière organique dans une tourbière tempérée. Delarue F, Laggoun-Défarge F, Lottier N, Gogo S, Disnar JR	25
1.8	Marqueur organiques et impact des activités humaines sur la sédimentation lacustre récente du lac d'Aydat (Puy-de-Dôme). Disnar JR, Jacob J, Lavrieux M	26
1.9	Changements environnementaux enregistrés par la matière organique dans un site d'altitude (Le Lac d'Anterne, 2063 m). Giguet-Covex C, Poulenard J, Disnar JR, David F, Lazzarotto J, Arnaud F, Delannoy JJ	27
1.10	Suivi par fractionnement densimétrique de l'incorporation de l'azote de litières de hêtres marquées dans les associations organo-minérales. Hatton PJ, Derrien D, Kleber M, Lajtha K, Zeller B	28
1.11	Reconstitution de la dynamique des matières organiques des sols lors d'une rotation sylvicole. Hedde M, Delporte P, Aubert M, Decaëns T, Bureau F	29
1.12	Impact du réchauffement climatique sur la fonction de puits de carbone des tourbières à sphaignes en domaine tempéré. Laggoun-Défarge F, Buttler A, Epron D, Francez AJ, Gilbert D, Grasset L, Guimbaud C	30
1.13	Caractéristiques et propriétés structurales des matières organiques solubles des horizons superficiels et profonds d'un sol arable. Lavaud A, Chabbi A, Croué JP	31
1.14	Cortèges lipidiques associés aux niveaux archéologiques de l'âge du Bronze Final et préservés en contexte sub-aquatique littoral (Lac du Bourget, Savoie). Lavrieux M, Jacob J, Disnar JR, Billaud Y, Arnaud F, Chapron E, Bréheret JG	32
1.15	Les bassins versants tropicaux humides de Guadeloupe : impact des changements climatiques sur la dynamique du carbone organique. Lloret E, Benedetti M, Dessert C, Gaillard J, Alberic P	33
1.16	Quantité et stabilité du carbone accumulé dans le sol d'une plantation vingt ans après l'application de traitements sylvicoles intensifs. Maillard E, Munson AD, Paré D	34

1.17	Pourquoi le modèle Century peut-il marcher ? Neill C	35
1.18	Processus de transformation de la matière organique colloïdale aux interfaces dans les sédiments superficiels. Parlanti E, Relexans S, Amouroux D, Bridou R, Bouchet S, Etcheber H, Abril G	36
1.19	Les isotopes du carbone en tant que traceurs de la matière organique dans les hydrosystèmes continentaux. Pierson-Wickmann AC, Gruau G, Jardé E, Lambert T	37
1.20	Etude de l'évolution des stocks de carbone du sol sous plantations d'eucalyptus des Hautes Terres Centrales malgaches. Razakamanarivo H, Grinand C, Rzafindrakoto, MA, Razakavololona A, Chotte JL, Albrecht A	38
1.21	Amendements calco-magnésiens de bassins versants forestiers acidifiés : effets sur la morphologie des humus. Rizvi H, Gauquelin T, Pernin C, Gers C, Baldy V	39
1.22	Les paramètres biogéochimiques des matières organiques du sol comme indicateurs de changement d'utilisation des terres. Rumpel C, Chabbi A	40
1.23	Erosion hydrique : source ou puits de carbone organique – une étude à différents échelle dans un bassin versant tropical Rumpel C, Chaplot V, Valentin C	41
1.24	Evaluation de l'impact des feux de forêt sur les sols par spectroscopie proche infrarouge et chimométrie. Vergnoux A, Guiliano M, Dupuy N, Domeizel M, Théraulaz F, Doumenq P	42
1.25	Interactions travail du sol - effets sur la matière organique du sol. Viaud V, Walter C	43
1.26	Modélisation intégrée de la dynamique de la matière organique du sol à l'échelle du paysage : quelles approches ? Viaud V, Parnaudeau V, Angers D, Morvan T, Menasseri S	44
1.27	Mise en évidence de changements récents de l'environnement grâce à l'étude organosédimentaire du Lac Boqueirão (Nord Est Brésil). Zocattelli R, Turcq B, Jacob J, Boussafir M, Disnar JR, Sifeddine A	45

Session 2 – MO et biodiversité

2.1	Dynamique et identification par DNA-/RNA-SIP des populations microbiennes telluriques impliquées dans la dégradation des résidus végétaux et la minéralisation de la matière organique du sol : effet d'un stress métallique. Bernard L, Mougél C, Maron PA, Nowak V, Lévêque J, Henault C, Haichar FZ, Berge O, Marol C, Balesdent J, Gibiat F, Lemanceau P, Ranjard L	55
2.2	Is soil fauna (earthworms) an important driver of key soil function ? The case of denitrifier community in a tropical soil. Brauman A, Mano MJ, Weber L, Chapuis-Lardy L, Bernard L, Pablo AL, Philippot L, Rabary B, Chotte JL, Blanchart E	56
2.3	Apport de compost sur un sol méditerranéen après incendie : effets sur la biomasse, la diversité fonctionnelle et les activités enzymatiques microbiennes. Cellier A, Ballini C, Baldy V, Gros R, Gauquelin T	57
2.4	Etude de lipides complexes (alkyl tetraethers de glycerol) dans les sols. Huguet A, Fosse C, Metzger P, Derenne S	58
2.5	Effet du compostage sur la biodégradation de résidus végétaux dans les sols et la dynamique des communautés microbiennes impliquées. Lerch T, Dignac MF, Mchergui C, Bardoux G, Houot S	59
2.6	Suivi des dynamiques conjointes du carbone et des communautés microbiennes d'un sol par traçage du ¹³ C en abondance naturelle. Lerch T, Dignac MF, Nunan N, Mariotti A	60

2.7	Evolution saisonnière des caractéristiques (spectrofluorescence, chromatographie d'exclusion) des matières organiques dans les eaux des Lacs perialpins (Annecy, Léman) et de leurs affluents. Poulenard J, Parlanti E, Lazzarotto J, Fanget B, Perrette Y, Hustache JC, Dorioz JM	61
2.8	Is biochemical composition of grass land species a driver of organic matter decomposition under field conditions? Sanaullah M, Rumpel C, Chabbi A	62

Session 3 – MO et polluants

3.1	La matière organique naturelle de surface (Problématiques et caractérisation : cas du barrage Sidi Mohammed ben Abdellah (Maroc). Amezghal A, Halim M, Maaroufi A, Assafi M, El Mghari Tabib M	72
3.2	Effet du ph rhizosphérique sur la disponibilité des HAP. Barnier C, Ouvrard S, Robin C, Morel JL	73
3.3	Réactivité physico-chimique de la matière organique dissoute et conséquences sur la dynamique de pesticides dans les sols. Barriuso E, Houot S, Benoit P	74
3.4	Stabilité de la matière organique de sols de cokerie : évolution du sol de la cokerie de Homécourt et de ses matériaux constitutifs isolés au cours d'oxydations expérimentales. Biache C, Mansuy-Huault L, Faure P, Michels L	75
3.5	Rôle des matières organiques particulières de composts d'origine urbaine et de sols amendés par ces produits dans la rétention de contaminants. Cambier P, Houot S, Benoît P, Bodineau G, Deschamps M, Etievant V, Rampon JN, Petraud JP, Proix N, Caria G, Francou C, Poitrenaud M	76
3.6	Hétérogénéité spatiale de la disponibilité de différents HAP à l'échelle du profil cultural suite à l'incorporation de composts d'origine urbaine. Deschamps M, Benoit P, Bernet N, Le Villio-Poitrenaud M, Houot S	77
3.7	Association matière organique et métaux lourds dans un lixiviat de sédiment contaminé d'un bassin d'infiltration. Durin B, Le Coustumer P, Stolpe B, Béchet B, Legret M, Le Cloirec P	78
3.8	Rôle de la dégradation de la matière organique particulière sur la dynamique des contaminants métalliques en milieu aquatique: étude expérimentale. Gonzalez JL, Boutier B, Auger D	79
3.9	Les stérols: marqueurs de l'impact des pratiques d'épandage de déjections animales sur la composition chimique des sols. Jardé E, Gruau G, Pierson-Wickmann AC, Jaffrezic A	80
3.10	Nature et répartition des micropolluants organiques lors de la remobilisation d'un sédiment fortement contaminé. Jeanneau L, Faure P, Jardé E	81
3.11	Minéralisation de micropolluants organiques au cours du compostage de boue et de déchets verts. Lashermes G, Houot S, Bergheaud V, Dumény V, Poitrenaud M, Barriuso E	82
3.12	Biodégradabilité et dynamique du phénanthrène dans un sédiment de rivière pollué. Leglize P, Auvray I, Berthelin J	83
3.13	Caractérisation de la matière organique dissoute en zones estuariennes et marines peu eutrophisées. Louis Y, Durrieu G, Zhao H, Heimbürger LE, Garnier C, Omanović D, Lenoble V, Mounier S, Pižeta I	84
3.14	Evaluation <i>in situ</i> du risque associé au transfert de matière organique d'un sol traité en bioremédiation. Ouvrard S, Faure P, Guimont S, Renat JC, Setier JC, Schwartz C	85
3.15	Mobilité et charge de nanocolloïdes organiques et étude de leurs interactions avec l'euporium. Roger G, Durand-Vidal S, Mériguet G, Bernard O, Turq P	86
3.16	Les matières organiques de technosols : évolution et contribution à l'agrégation. Watteau F, Villemin G, Bouchard A, Monserie MF, Sere G	87

3.17	Interaction entre la matière organique et les métaux, application du Quenching de fluorescence et comparaison de substances humiques de différents milieux. Zhao H, Mounier S	88
------	--	----

Session 4 – MO et déchets

4.1	Valorisation de boues de station d'épuration chaulées et séchées en amendement de jeunes semis de chêne pédonculé. Benbrahim M, Alaoui-Sossé B, Alaoui-Sossé L, Lovy L, Badot PM	98
4.2	Adaptation du modèle CANTIS pour la simulation de la minéralisation du carbone et de l'azote de produits résiduels organiques. Caubel J, Houot S, Doublet J, Garnier P	99
4.3	Stockage et dynamique de la matière organique apportée en grande quantité dans les sols urbains reconstitués. Caubel V, Vidal-Beaudet L, Grosbellet C	100
4.4	Does compost and vermicompost allow a better retention of macronutrients and plant growth in degraded tropical soils? Doan TT, Jouquet P, Nguyen TV, Toan TD, Rumpel C	101
4.5	Compréhension des processus biologiques régissant le traitement par compostage des déchets organiques solides : étude des transformations de la matière organique lors de sa biodégradation. Druilhe C, Berthe L, Massiani C	102
4.6	Valorisation des déchets urbains solides de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) : effet de la nature des substrats, de leur proportion sur la qualité chimique, biochimique et biologique des composts. Kaboré TW, Houot S, Hien E, Zombré NP, Masse D	103
4.7	Caractérisation des composts de déchets organiques. Effets à court terme sur la productivité et les propriétés géochimiques des sols reconstitués amendés. Kammoun-Rigane M, Medhioub K, Mnif T	104
4.8	Contribution à la mise en place d'un protocole de lavage de lit filtrant de sable pour les eaux potables à l'échelle de laboratoire. Maazouzi A, Kettab A, Zahraoui B, Khalfaoui R, Badri A	105
4.9	ORE PRO : Observatoire de la valeur agronomique et des impacts environnementaux des produits résiduels organiques recyclés en agriculture. Michaud A, Bodineau G, Rampon JN, Cambier P, Benoit P, Vachier P, Coquet Y, Haudin CS, Montagne D, Le Villio-Poitrenaud M, Montenach D, Valentin P, Imhoff M, Schaub A, Valentin N, Morvan T, Houot S	106
4.10	Apport des lombriciens à la valorisation des déchets organiques. Ouahrani G, Gheribi-Aoulmi Z, Chenouf S	107
4.11	Utilisation du test de lixiviation comme un outil d'évaluation du potentiel de relargage de la matière organique contenue dans les déchets. Parodi A, Feuillade G, Nicolau R, Redon E	108
4.12	Paramétrage du modèle Roth C pour l'utilisation de Produits Résiduels organiques. Peltre C, Houot S, Martin M	109
4.13	Mesure des propriétés hydrodynamiques des sols et engrais organiques. Simon NN, Générumont S, Garcia L, Labat C, Garnier P	110
4.14	Valorisation des composts pour la plantation d'arbres en milieu urbain. Vidal-Beaudet L, Caubel V, Grosbellet C	111
4.15	Evaluation des performances d'une unité de traitement des ordures ménagères par tri mécano-biologique. Wavrer P, Villeneuve J, Védrine H, Thauvin P, Lambeaux JL, Bellon E	112

Session 5 : Méthodologie et Biomarqueurs

5.1	Suivi de la maturité de composts de bio-déchets par Spectroscopie Proche Infra-Rouge Albrecht R, Joffre R, Le Petit J, Terrom G, Perissol C	123
-----	--	-----

5.2	Le levoglucosane: un marqueur des feux passés dans les sols? Alexis MA, Richard B, Péchot N, Bardoux N, Rumpel	124
5.3	Extraction et hydrolyse assistées par micro-ondes. Un nouvel outil pour l'étude de la matière organique récalcitrante : application à un sol de forêt. Allard B, Derenne S	125
5.4	La fluorescence naturelle de la MOD : un nouveau traceur pour caractériser les écoulements souterrains et les modalités de recharge dans les aquifères karstiques. Batiot-Guilhe C, Fabiano AS, Emblanch C, Blondel T	126
5.5	Protocoles de traçages hydrogéologiques spatial et temporel en aquifère karstique méditerranéen à partir des MOD : Utilisation conjointe de la fluorescence naturelle et des signaux de RPE. Blondel T, Emblanch C, Dudal Y, Pépin-Donat B, Lombard C, Protière M, Poulenard J, Perrette Y, Mounier S, Gaffet S	127
5.6	Modalités de piégeage des matières organiques naturelles dans la calcite : contenu organique de calcites synthétiques et naturelles. Chalmin É, Perrette Y, Fanget B, Poulenard J	128
5.7	Plans d'expériences appliqués à l'étude des interactions Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) – Matière Organique Dissoute (MOD). De Perre C, Dorthe AM, Le Menach K, Budzinski H, Parlanti E	129
5.8	Fractionnement et concentration de la matière organique dissoute par ultrafiltration / osmose inverse. Derrien M, Jardé E, Gruau G, Pierson-Wickmann AC	130
5.9	Mise au point de la quantification des HAP contenus dans des extraits aqueux de sols et de produits résiduaux organiques. Deschamps M, Bernet N, Benoit P, Houot S	131
5.10	Traçage par fluorescence 3D des rejets de stations d'épuration dans le fleuve Hérault. Elbaz-Poulitchet F, Bancon-Montigny C, Cordier MA, Batiot-Guilhe C, Daudin G, Dudal Y	132
5.11	Biodégradation aérobie de déchets solides : caractérisation par couplage de méthodes d'analyse. Esteve K, Tremier A, Dabert P	133
5.12	Suivi de l'évolution conformationnelle des matières organiques de sols extraites à l'eau. Fanget B, Perrette Y, Poulenard J, Miège C	134
5.13	Etude spectrophotométrique de la réactivité de la matière organique. Janot N, Benedetti M, Reiller P	135
5.14	Validation of a conductometric bienzyme biosensor for the detection of proteins as marker of organic matter in river samples. Khadro B, Namour P, Bessueille F, Leonard D, Jaffrezic-Renault N	136
5.15	Critères de caractérisation de la matière organique dissoute fluorescente en milieux aquatiques. Parlanti E, Vacher L, Huguet A, Wörz K, Ibalot F	137
5.16	Hydrocarbonnes Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les stalagmites : présence et utilisation pour étudier les environnements passés. Perrette Y, Poulenard J, Saber AI, Fanget B, Guittonneau S, Ghaleb B, Garaude S	138
5.17	Isolement et caractérisation des lignines dans les sols : application de la méthode dite 'Milled Wall Enzymatic Lignins'. Thevenot M, Dignac MF, Pechot N, Bahri H, Lapierre C, Bardoux G, Rumpel C	139

Session 1

Oral

**The mechanism of mineralisation of soil organic matter by the soil microbial
biomass – a new hypothesis**

Brookes P. C., Kemmitt S.

**Soil Science Department, Rothamsted Research, Harpenden, Herts AL5 2JQ
UK. email: philip.brookes@bbsrc.ac.uk**

The soil microbial biomass (biomass) is defined as the combined masses of soil micro-organisms $< 5000 \mu\text{m}^3$. Soil organic matter is formed from the decomposition of plant or animal residues entering soil by the biomass and ranges from freshly produced microbial metabolites to carbon (C) forms which, following repeated recycling, are essentially biologically inert (Jenkinson et al., 1992). Understanding the behaviour of the biomass is therefore essential if we are to understand soil organic matter dynamics. Unlike organic residues, soil organic matter probably has no definable structure at all. Instead it functions as a random product of microbial metabolism, existing in largely non-polymeric forms. However, many functional groups can be determined, e.g. carboxyl, alkyl, aryl, hydroxyl, amino etc. It is this lack of polymeric structure which, in part, gives soil organic matter its resistance to microbial degradation, coupled also with physical protection, e.g. being sorbed onto surfaces of soil minerals and/or held within soil aggregates. Nevertheless, stabilised soil organic matter is slowly mineralised by the biomass.

Here we introduce a new hypothesis to account for the observation that the rate of mineralisation of non-biomass soil organic matter is independent of the size, community structure or activity of the biomass. This stems from the pioneering work of Jenkinson (1966) and Jenkinson and Powlson (1976) who developed the Fumigation Incubation method to measure the biomass. They showed that, following 24 h fumigation with CHCl_3 then fumigant removal, the fumigated soil respired at the same rate as a non-fumigated control soil. This is despite the biomass in the fumigated soil being only about 5 to 10 % of that in the non-fumigated soils and also very different in diversity and activity. To account for this hitherto unexplained phenomenon we suggest that the rate-limiting step in soil organic matter mineralisation is not governed by microbial processes but by abiotic ones. These may include, amongst others, diffusion, desorption from soil surfaces, oxidation or (less likely) stabilised extracellular enzymes. This work has important implications in increasing our understanding of soil organic matter dynamics.

Concept de saturation, séquestration du carbone et agrégation du sol

Denis Angers

*Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec
et Agrocampus-Ouest, Rennes*

Hassink (1997) propose que la capacité du sol à stocker du C sous forme stable est limitée et déterminée par sa teneur en argile et limon. L'objectif de cette communication est de présenter des résultats d'expérimentations qui illustrent l'utilité du concept de saturation pour expliquer l'évolution des stocks de C et l'agrégation de sols agricoles sous l'influence de pratiques agricoles contrastées. L'analyse est basée sur un ensemble de dispositifs expérimentaux de longue durée de l'est du Canada qui comparent, sur différents types de sol, des modalités différentes d'apport de matières organiques, de travail du sol ou de séquences de cultures.

De façon générale et prévisible, on observe que les pratiques qui associent non-labour et apports de C sous forme de résidus végétaux ou d'effluents d'élevage conduisent à des accumulations significatives de C dans la couche superficielle de sol (0-10 cm). Cette accumulation est observée dans la fraction fine dans le cas des sols non-saturés et, à l'inverse, dans la fraction grossière dans les sols saturés. Par ailleurs, l'évolution de l'agrégation stable à l'eau dans la couche superficielle (0-10 cm) a fait l'objet d'un suivi annuel pendant une période de 15 ans au site de Normandin. La teneur en agrégats stables >1 mm évolue dans le temps en fonction des apports de C et du travail du sol. Après 15 ans, le niveau d'agrégation est proportionnel à la teneur en C du sol dans la fraction fine. Dans la situation agronomique associant le non-labour à des apports d'effluents d'élevage, cette fraction fine atteint la saturation (95%) et le niveau d'agrégation, sa valeur maximum. *A contrario*, dans les situations avec labour et sans apports significatifs de C, la fraction fine demeure non saturée et le niveau d'agrégation stable reste plus faible.

D'autre part, l'analyse du profil de C (sur 60 cm) montre des stocks de C plus élevés en situation de labour que de non-labour pour quatre sites expérimentaux. Cet effet est essentiellement attribuable aux teneurs en C de la couche 10-30 cm nettement plus élevées sous labour. L'analyse des fractions granulométriques montre que dans la couche 10-30 cm des sols labourés, la matière organique s'accumule dans la fraction fine (<50 µm) et de façon particulière à l'échelle des micro-agrégats de 2-50 µm. Ces observations sont en accord avec le rôle présumé de cette fraction dans la stabilisation des matières organiques en cours de décomposition. L'accumulation de C et N dans la fraction fine des sols labourés est particulièrement importante dans les trois sols de texture fine qui présentent un taux de saturation des argiles et limons plus faible.

Il est donc possible que le taux de saturation de la fraction fine permette de prédire le potentiel de séquestration du C dans les sols ainsi que l'évolution à long terme du niveau d'agrégation stable à l'eau. La généralité de la relation entre taux de saturation de la fraction fine et agrégation stable devra d'abord être vérifiée.

Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil* 191 :77-87

Podzolisation et exportation de matière organique dans les eaux noires du Rio Negro (haut-bassin amazonien, Brésil)

Marion Bardy^{1,2}, Cyrielle Briand¹, Sylvie Derenne¹, Thierry Allard², Marc F. Benedetti³, Emmanuel Fritsch^{2,4}

¹ *Laboratoire de Chimie Bioorganique et Organique Physique - UMR CNRS UPMC BioEMCo - 11 rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05*

² *Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés - UMR CNRS UPMC 7590, 140 rue Lourmel, 75015 Paris*

³ *Laboratoire de Géochimie des Eaux – Université Paris Diderot Paris 7-IPGP, Bâtiment Lamarck, 35 rue Hélène Brion, 75205 Paris Cedex 13*

⁴ *Institut de Recherche pour le Développement - UMR 161 CEREGE, Europôle Méditerranéen de l'Arbois BP 80, 13545 Aix-en-Provence Cedex*

On observe dans le bassin du Rio Negro (haut-bassin amazonien) le développement à grande échelle de podzols aux dépens des latérites (latosols) classiquement rencontrés dans la région. Le processus de podzolisation entraîne la remobilisation de matière organique (MO) et d'éléments précédemment accumulés (Al, Fe, Si) dans les latosols. Ceux-ci sont redistribués au sein des profils de sol, et exportés vers les rivières, leur conférant une couleur noire caractéristique. L'étude présentée ici vise à mieux comprendre l'évolution des MO dans le continuum podzols / rivières noires du haut-bassin amazonien, en identifiant, au sein des podzols, des zones sources d'exportation de matière en suspension dans les eaux des réseaux de drainage.

L'étude se focalise sur les podzols qui se développent de façon centrifuge dans de petites dépressions localisées sur les plateaux. Elle porte sur une toposéquence représentative de la transition latosol / podzol dans le bassin du Jau, affluent du Rio Negro, qui permet d'étudier l'évolution des MO lors des différenciations à la fois verticale et horizontale des podzols. En particulier, il s'agit d'étudier d'une part si les MO exportées sont mobilisées dans les horizons de surface ou dans les horizons profonds, et d'autre part si cette mobilisation a lieu plutôt au niveau de la transition, où la podzolisation est la plus active, ou seulement dans les podzols évolués, après une première phase pendant laquelle la MO serait immobilisée de façon transitoire dans les horizons B.

Nous avons pour cela comparé, en début de saison humide, la composition de la MO extraite à l'eau dans différents horizons de sol avec celle de la MO présente dans le réseau de drainage de la toposéquence. Dans un premier temps, nous avons comparé le pH, la conductivité et le SUVA (Absorbance UV spécifique) des extraits aqueux de sols avec ceux de l'eau prélevée sur le terrain au niveau des nappes des sols et de ruisseaux drainant la toposéquence. Dans un second temps, nous avons travaillé sur la MO extraite à l'eau et lyophilisée, dont nous avons déterminé les caractéristiques spectroscopiques par RMN ¹³C et la structure moléculaire par pyrolyse, avec ou sans agent méthylant (hydroxyde de tetramethylammonium, TMAH). La MO des rivières noires amazoniennes étant principalement sous forme colloïdale, nous avons également séparé cette fraction des extraits aqueux et nous l'avons étudiée par les mêmes méthodes spectroscopiques et pyrolytiques.

Ces analyses permettent d'avoir une meilleure connaissance de la structure des matières organiques mobilisées en environnement podzolique, et de montrer qu'au début de la saison humide, les horizons profonds de podzols développés contribuent fortement à l'exportation de MO vers le réseau hydrographique.

Dynamique des MO complexées aux minéraux dans un andosol: de l'échelle du profil à l'échelle moléculaire.

I. Basile-Doelsch^{1*}, A. De Junet¹, D. Derrien³, J. Balesdent⁴, D. Borschneck¹, G. Gleixner⁵

¹CEREGE, CNRS, Université Aix Marseille, IRD, Collège de France, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, Aix-en-Provence Cedex 04, F-13545 France.

²ECODIV, Université de Rouen, 10 Boulevard Maurice de Broglie, 76821 Mont Saint Aignan, France.

³INRA, 54280 Champenoux, France.

⁴INRA, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, Aix-en-Provence Cedex 04.

⁵Max Planck Institut für Biogeochemie, Postfach 100164, 07701 Jena, Allemagne.

La dynamique des matières organiques (MO) est étudiée dans un andosol sur une chronoséquence de remplacement de végétation C3 par une culture en C4 de canne à sucre. L'étude couplée des phases minérales (par DRX) et des phases organiques (par IRMS, GC-IRMS et PyGC/MS-C-IRMS) permet de quantifier la dynamique du C à trois échelles : à l'échelle du profil, à l'échelle des complexes organo-minéraux (notés COMx) et à l'échelle moléculaire.

Les trois profils de sol (non cultivé, 44 ans et 170 ans de canne à sucre) montrent une minéralogie complexe mais identique entre les trois sites. Dans les horizons de surface (0-25 cm), 50% du stock de MO initiales est après 44 ans de culture. Sur les MO restantes, 80% des MO ont été renouvelées. Après 170 ans de culture en canne, le stock de MO de surface est identique à celui observé après 44 ans de culture. En revanche, il ne reste plus que 10% du C de la végétation C3 initiale. Dans ces horizons de surface, la dynamique des sucres a été spécifiquement étudiée.

Au-delà de 30 cm de profondeur, les stocks de C semblent peu affectés par la mise en culture et nous faisons l'approximation de stock constant en MO entre les trois sites. Le renouvellement des MO est beaucoup plus lent qu'en surface puisqu'il reste encore 60% de C C3 après 170 ans de culture en canne. Dans l'horizon 40-50 cm, la séparation des COMx par densimétrie montre que 70% des MO sont fortement liées à seulement trois types de minéraux (smectite, gibbsite et aluminosilicates faiblement cristallisés de type imogolite/allophane). Parmi les COMx, ce sont ces mêmes phases minérales qui renouvellent le plus de C (jusqu'à 40 % après 170 ans de culture en canne). A l'inverse, les COMx formés par des oxydes de fer (goethite, magnétite, maghémite) ne complexent que 2% de la MO et en ont renouvelé moins de 20% après 170 ans. Ces données montrent d'une part que les aluminosilicates complexent ici plus de MO que les oxydes de fer, et que, d'autre part, le C est renouvelé d'autant plus vite la teneur en C au sein des COMx est grande.

Enfin, une expérimentation exploratoire montre que, par couplage en ligne d'un PyGCMS avec un IRMS, il est possible, au sein des COMx, d'accéder à la dynamique des composés organiques à l'échelle moléculaire.

Evolution haute résolution de la culture du millet et de l'érosion des sols durant l'âge du Bronze dans les sédiments du Lac du Bourget (Savoie).

Jérémy Jacob¹, Jean-Robert Disnar¹, Yves Billaud², Fabien Arnaud³, Emmanuel Chapron.

¹ *Institut des Sciences de la Terre d'Orléans. Université d'Orléans/Université François Rabelais de Tours, UMR 6113 du CNRS/INSU. 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans.*

² *Ministère de la Culture, DRASSM 58 bis rue des Marquisats 74000 Annecy, France.*

³ *EDYTEM, UMR 5204 du CNRS/Université de Savoie, Campus Savoie Technolac, F-73376, le Bourget du Lac, France.*

Le "Changement Global" et ses possibles impacts sur les milieux naturels ou anthropisés incitent la communauté scientifique à adopter une démarche rétrospective pour comprendre les impacts passés des variations climatiques sur les sociétés et milieux, avec notamment l'ambition d'estimer les possibles stratégies d'adaptation des populations aux changements environnementaux. Nous avons récemment détecté dans les sédiments du Lac du Bourget des biomarqueurs moléculaires permettant d'une part, d'attester la présence du millet cultivé (*P. miliaceum*) dans le bassin versant (miliacine) et d'autre part, d'estimer l'intensité de l'érosion des sols (TTHC). La comparaison avec d'autres résultats nous permet d'étudier en continu et dans une même trame chronologique : les variations climatiques, l'évolution d'une pratique agricole et l'érosion des sols.

La première apparition de la miliacine dans le sédiment est datée de 1700 av. J.C., en accord avec la date d'importation de *P. miliaceum* dans la région. Cette apparition de miliacine s'accompagne d'une augmentation drastique des concentrations en TTHC dans le sédiment, interprétée comme le résultat d'une érosion accrue des sols, sans doute du fait de nouvelles pratiques agricoles mises en œuvre dans le bassin versant. Entre 1700 av. J.C. et la diminution drastique des concentrations enregistrée à la transition âge du Bronze/âge du Fer (vers 800 av. J.C.), les concentrations en miliacine croissent tout en affichant des valeurs légèrement inférieures à celles d'autres périodes. Si les concentrations en miliacine dans le sédiment peuvent être reliées à la quantité de millet moissonné, les périodes de plus faible concentration en miliacine correspondraient à des périodes de légère déprise agricole. Alternativement, ces baisses de concentration pourraient résulter d'une dilution plus importante de la miliacine par le cortège minéral. La comparaison de notre enregistrement avec les données d'occupations humaines (datées par dendrochronologie) et les variations de niveau lacustre, semble indiquer que les périodes de plus faibles concentrations en miliacine coïncident avec phases de haut niveau lacustre alors que les périodes caractérisées par des concentrations plus élevées coïncident avec les plus fortes densités des dates d'abattage relevées sur pieux.

Outre la mise en relation d'activités humaines avec l'évolution de l'environnement, cette étude illustre les verrous actuels dans l'interprétation des données d'analyses moléculaires en termes quantitatifs (i.e. en concentrations absolues de biomarqueurs).

Dynamique du sulfate au cours de la décomposition de résidus végétaux dans les sols, et relation avec les minéralisations de C et N

Sylvie Recous^{1,2}, Hamid Niknahad-Gharmakher¹, Jean-Marie Machet¹

¹ INRA, US1158 Agro-Impact F-02000 Laon, ² INRA, UMR614 Fractionnement des Agro-Ressources et Environnement, F-51000 Reims (sylvie.recous@reims.inra.fr)

Le soufre est un élément essentiel qui se classe quantitativement juste après les trois éléments majeurs que sont N, P et K en matière de besoin pour les plantes. Au début des années 1980 les déficiences en S ont commencé à devenir fréquentes sur les cultures annuelles (Zhao et al., 2002), en raison de l'utilisation d'engrais minéraux purifiés ne contenant plus de soufre, et de la chute spectaculaire des retombées atmosphériques de S en relation avec la législation mise en place relative aux émissions de dioxyde de soufre dans l'air (Scherer, 2001). Ceci explique le regain d'intérêt de la communauté scientifique pour la compréhension et la prédiction de la dynamique du soufre dans les sols, notamment celle associée aux matières organiques. L'objectif du travail présenté était de quantifier la minéralisation du soufre en relation avec la décomposition de résidus végétaux variant par leur composition biochimique et leur teneur en soufre. L'hypothèse émise est qu'une étude conjointe de la dynamique de S et de celles de C et N doit permettre de mieux comprendre la dynamique de S, l'essentiel de la minéralisation du soufre étant associée à l'activité des populations microbiennes dégradant les matières organiques (Eriksen, 1995). L'objectif final est de proposer une modélisation simple de l'évolution du soufre au cours de la décomposition de résidus végétaux, permettant d'intégrer cette source de S dans un modèle de prédiction de la dynamique de S dans les sols.

Les expérimentations ont été menées en conditions contrôlées. Cinq types de résidus végétaux (blé et colza à maturité, feuilles sénescentes de hêtre, jeunes plantes de fétuque et de moutarde) ont été mélangés à un sol limoneux (17% argile, 77% limon, 0,1 % N, pH 8) dans une proportion de 1.5 g C kg⁻¹ sol. Les compositions biochimiques de ces résidus végétaux (analyse proximale Van Soest) et la teneur en S total et en sulfate ont été déterminées. Le C/S varie de 60 (moutarde) à 670 (feuille de hêtre). Des apports initiaux de 20 mg S-SO₄ et 70 mg N-NO₃ kg⁻¹ sol ont été réalisés pour établir les cinétiques de décomposition en conditions non limitantes en azote et en soufre. Les incubations ont été menées à 20°C et 80% WHC avec des prélèvements destructifs pour S et N à 0, 4, 7, 14, 27, 55, 100 et 175 jours, et un suivi continu du C-CO₂ minéralisé. Le module de décomposition C-N du modèle STICS (Nicolardot et al., 2001) a été adapté et utilisé pour tester la possibilité de simuler la minéralisation-organisation de S, à partir du formalisme précédemment développé pour les minéralisations conjointes de C et N.

Les résultats obtenus montrent que

- Globalement l'intensité des flux de S au cours de la décomposition est faible, avec un ordre de grandeur des flux S par rapport à N de 1:10;
- La minéralisation nette de S est inversement corrélée au C/S des résidus végétaux. Néanmoins une partie importante de l'accumulation nette de sulfate correspond à des formes solubles de S contenues initialement dans certains résidus de plante, comme la fétuque et la moutarde.
- L'adoption du formalisme du module de STICS pour décrire les cinétiques obtenues, basé notamment sur la prise en compte du C/S des résidus, est proposée. Il permet d'estimer les paramètres spécifiques (C/S de la biomasse microbienne et C/S de la matière organique humifiée).

Mots-clés : décomposition, modélisation, résidus de récolte, sol, soufre

Références :

- Eriksen J. 2005. Soil Biol Biochem. 37: 2216-2224.
Nicolardot B et al., 2001. Plant Soil, 228: 83-103.
Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production. Eur J Agron 14:81-111.
Zhao FJ et al., 2002. International Fertiliser Society Proceedings n° 504

La dynamique des lignines dans les sols

Mathieu Thevenot, Cornelia Rumpel, Marie-France Dignac

UMR Bioemco, INRA-CNRS-Université Paris 6, 78850 Thiverval-Grignon

Du fait de leur abondance et de leur récalcitrance, les lignines sont considérées comme un acteur majeur de la dynamique des matières organiques des sols (MOS). Cependant, malgré de nombreuses études menées, des interrogations subsistent quant à leurs voies de dégradation et de stabilisation. L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux des connaissances actuelles concernant le devenir des lignines dans les sols, pour une meilleure compréhension de leur dynamique.

Pour l'étude des lignines dans les sols, la procédure la plus répandue est l'oxydation alcaline à l'oxyde cuprique (CuO). Cette méthode permet d'isoler différents types de monomères (V, S, C), considérés comme de bons indicateurs, quantitatifs et qualitatifs, des lignines dans les sol (Hedges et Mann, 1979; Bahri *et al.*, 2006). Pour réaliser notre étude, les données VSC (teneurs et ratios), de même que les paramètres caractéristiques des sols et de l'environnement ont été compilés et analysés à partir de la littérature internationale. Les données ont été étudiées dans leur globalité, mais aussi en fonction de l'occupation des sols, en distinguant les catégories : sols arables, sols sous forêt et sols sous prairies.

Les données issues de la bibliographie confirment l'efficacité des rapports S/V et C/V pour différencier l'origine des lignines, entre les taxons angiospermes et gymnospermes. Cependant, la différenciation des végétaux d'un même taxon est plus imprécise. Dans les sols, une diminution des teneurs en lignines ($\text{g VSC kg}^{-1} \text{CO}$) est observée avec la profondeur, ainsi que des variations dans les fractions granulométriques. Globalement, il apparaît que les teneurs en lignines sont plus importantes dans les fractions grossières du sol, la diminution des teneurs dans les fractions fines s'accompagnant d'une augmentation de leur degré de dégradation. Ce dernier ne présente cependant qu'une très faible variabilité ($(ac/al)_{s/v} < 1$) dans les sols cultivés, contrairement aux sols forestiers et sous prairie. Concernant l'impact des paramètres chimiques du sol sur les teneurs en lignines, une corrélation est observée, dans les trente premiers centimètres, avec les teneurs en carbone et en azote pour les sols sous forêt et sous prairie. Cependant, cette corrélation n'est pas observée dans le cas des sols cultivés. A l'inverse des propriétés des sols, aucunes corrélations significatives n'a été observées entre les teneurs en lignines et les températures et pluviométries moyennes des zones d'études, et ce malgré des observations dans ce sens (Amelung *et al.*, 1999). Concernant la dynamique des lignines et leur stabilisation dans les sols, les résultats récents, basés sur l'utilisation de méthodes isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$), suggèrent un comportement complexe. Ainsi, des taux de renouvellement supérieurs à ceux du carbone organique total du sol ont été mesurés (Dignac *et al.*, 2005; Rasse *et al.*, 2006). Alors qu'une stabilisation importante des lignines a été mise en évidence par d'autres auteurs (Hofmann *et al.*, 2008). Dans tous les cas, les mécanismes en jeu restent à élucider. La compilation des données a permis d'estimer le stockage moyen des lignines dans les vingt premiers centimètres des sols a environ 12 g m^{-3} de lignines sous culture, jusqu'à 40 g m^{-3} sous forêt. En conclusion, il apparaît que si le devenir des lignines dans les sols est en partie connu, des efforts de recherches sont encore nécessaires pour améliorer notre compréhension globale de leur dynamique et des mécanismes qui la régissent. Les avancées analytiques récentes, notamment en termes d'analyse isotopique et moléculaire, sont particulièrement intéressantes dans ce sens.

Amelung W., Flach K.-W., Zech W., 1999. *Soil Science Society of America Journal* 63, 1222-1228.

Bahri H., Dignac M.-F., Rumpel C., Rasse D.P., Chenu C., Mariotti A., 2006. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 1977-1988.

Dignac M.-F., Bahri H., Rumpel C., Rasse D.P., Bardoux G., Balesdent J., Girardin C., Chenu C., Mariotti A., 2005. *Geoderma* 128, 3-17.

Hedges J.I., Mann D.C., 1979. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43, 1803-1807.

Hofmann A., Heim A., Christensen B.T., Miltner A., Gehre M., Schmidt M.W.I., 2008. *European Journal of Soil Science*, Accepted.

Rasse D.P., Dignac M.-F., Bahri H., Rumpel C., Mariotti A., Chenu C., 2006. *European Journal of Soil Science* 57, 530-538.

Session 1

Posters

Évolution des stocks de carbone organique d'une gamme de sols prairiaux de semi montagne entre 2002 et 2006

Alvarez G., Andanson L., Vassal N.

Clermont Université, Enita Clermont, UR AFOS 2008.03.100, F-63370 Lempdes, France

Enita Clermont, UR AFOS 2008.03.100, F-63370 Lempdes, France

alvarez@enitac.fr, vassal@enitac.fr

Sources d'énergie et de nutriments pour les organismes vivant dans le sol, les matières organiques des sols (MOS) et leur évolution sont étroitement liées à la dynamique des cycles des éléments et en particulier à celui du carbone (C). Ces stocks de C accumulés dans le sol résultent du bilan des flux de C entrant par des allocations d'origines multiples (végétaux, animal, homme) et des flux de décomposition du C organique du sol qui conduisent schématiquement à i) un stockage durable du C sous des formes organiques fines à turnover lent, ii) des flux de minéralisation de C et N qui conditionnent le pouvoir de fourniture en azote des sols et les externalités (lixiviation N, émission de GES). L'ensemble de ces processus conduisent ainsi à considérer les sols à la fois comme source émettrice et puits de carbone. Ces processus sont à la fois sous l'influence de facteurs globaux (climat...) et de facteurs proximaux (utilisation du sol, pratiques agricoles).

Les prairies sont identifiées comme étant des écosystèmes à forte capacité de stockage de C. Nous nous sommes intéressés à la variabilité des stocks de C accumulés sous 20 prairies et à leur évolution sur le moyen terme. Pour caractériser les stocks de MOS accumulées, nous avons différencié les compartiments de MOS libres à turnover rapide et les MOS agrégées (AOM), plus évoluées et à turnover lent, intégrant l'humus. Une cohorte de MOS particulières (POM), de granulométrie grossière (>200 µm) et à turnover rapide a été extraite des sols par fractionnement granulométrique sous eau. Ces POM, alimentées par les allocations organiques au sol récentes (litières racinaires...) rendent compte d'un continuum d'évolution des MOS depuis les MO les plus décomposables vers les plus évoluées (Melillo et al., 1989; Alvarez et al., 1998; Personeni et Loiseau, 2004).

Les premiers résultats de cette étude portent sur les évolutions des états organiques des 20 sols prairiaux entre 2002 et 2006. Les parcelles proviennent de 8 exploitations agricoles bovin-lait (départements 42, 43, 63) réparties sur 2 sites aux pédo-climats similaires (semi montagne granitique, 800 m d'altitude, pluviométrie 850 mm, sols sablo-limoneux, pH 5-6). Les prairies (permanentes et temporaires de 4 à 6 ans) ont été choisies de façon équilibrée parmi les types d'utilisation : fauche précoce, fauche tardive et pâturage uniquement. Dans chaque parcelle, le sol a été prélevé dans une zone de faciès végétal homogène de 500 m², en mars 2002 et 2006. Les matières organiques particulières (POM) ont été extraites par tamisage sous eau des sols sur 2 tamis (2 mm, 200 µm) puis séparation densimétrique dans l'eau (Loiseau et Soussana, 1999). Les teneurs en C et N de chaque fraction granulométrique de MOS et du stock total du sol tamisé à 5mm ont été dosées (CN Dumas).

Les teneurs en C organique des sols étudiés variaient de 2,3 % à 7,2 % à l'instant initial, les prairies permanentes ayant les teneurs les plus élevées. L'évolution observée des stocks de C organique de 2002 à 2006 rejoint les résultats de Bellamy et al. (2005) obtenus dans l'inventaire national des sols Britanniques (1978-2003). Elle met en évidence une perte de C organique de l'horizon de sol de surface dans les sols initialement riches en C (prairies permanentes), d'autant plus importante que cette richesse initiale était forte. Dans les sols à teneur en C initiale plus faible (prairies temporaires), les stocks de C sont restés stables de 2002 à 2006. Le fractionnement des MOS montre que la diminution apparente des stocks totaux de C s'est opérée par diminution du C majoritairement agrégé (AOM). Par contre, les stocks de C particulière (POM), représentant les formes de C les plus récemment allouées au sol et les plus décomposables, ont augmenté dans la quasi totalité des sols et en particulier dans les sols dont les stocks de C agrégé ont le plus diminué.

Ces résultats suggèrent une accélération de la vitesse de décomposition du C ancien agrégé, sous l'action d'un facteur environnemental ayant affecté les stocks de C quel que soit la gestion des prairies. L'augmentation conjointe des stocks de C sous forme particulière soulève des hypothèses sur l'existence d'interactions entre les flux d'allocation de C récent au sol et l'effet d'un facteur environnemental (sécheresse marquée, température).

Alvarez G., Chaussod R., Loiseau P., Delpy R. (1998). Soil indicators of C and N transformations under pure and mixed grass-clover swards. *European Journal of Agronomy*, 9, 157-172.

Bellamy P.H., Loveland P.J., Bradley R.I., Lark R.M., Kirk G.J.D. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*, 437, 7056, 245-248.

Loiseau P., Soussana J.F. (1999). Elevated [CO₂], temperature increase and N supply effects on the turnover of below-ground carbon in a temperate grassland ecosystem. *Plant and Soil*, 210, 233-247.

Melillo J.M., Aber J.D., Linkins A.E., Ricca A., Fry B. (1989). Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil*, 115, 189-198.

Personeni E., Loiseau P. (2004). How does the nature of living and dead roots affect the residence time of carbon in the root litter continuum? *Plant and Soil*, 267, 129-141.

Influence de la qualité des résidus végétaux sur les cinétiques enzymatiques au cours des premiers stades du processus de décomposition dans les sols.

B. Amin, J. Beaugrand, B. Chabbert, P. Debeire, I. Bertrand.

*UMR 614 INRA-URCA "Fractionnement des Agro-Ressources et Environnement" 2
esplanade Roland Garros, F-51100 Reims*

Le processus de décomposition des résidus végétaux dans les sols est influencé par des variables environnementales telles l'humidité et la température, mais aussi par des paramètres intrinsèques tels les caractéristiques chimiques du substrat végétal (Caddish et Giller, 1997; Bertrand et al., 2006; 2009) et la nature des micro-organismes décomposeurs. Dans les sols, la majorité des réactions biochimiques, dont celles liées à la biodégradation des résidus végétaux, sont catalysées par des enzymes. Alors qu'il a été montré que la décomposition pouvait être corrélée étroitement à l'activité de classes d'enzymes clés (Sinsabaugh et al., 1992; Poll et al., 2008), peu d'études ont cherché à révéler l'impact de la qualité chimique des résidus végétaux sur leur vitesse de décomposition *via* l'analyse d'activités enzymatiques.

L'objectif de ce travail est, dans un premier temps, de vérifier si des cinétiques de décomposition contrastées, liées à la nature des résidus, vont générer des cinétiques enzymatiques différentes, et ce, au cours des premiers stades de la décomposition. L'une des originalités de cette approche est de prendre en compte 1) la présence ou non de micro-organismes endogènes aux résidus et 2) de mesurer des activités enzymatiques à la fois sur le substrat végétal et dans le sol, et ce de façon dynamique.

Des incubations avec des résidus végétaux correspondant aux organes aériens (feuilles) et souterrains (racines) de plantes de maïs ont été réalisées. L'importance de micro-organismes endogènes sur le processus de décomposition a été évalué en utilisant trois modes de stérilisation différents : résidus i) non stérilisés, ii) stérilisés partiellement par un traitement de surface et iii) stérilisés globalement par rayonnement gamma. Les incubations ont été menées en conditions contrôlées à -80kPa et 15°C, en conditions d'azote non limitant, pendant 40 jours. A différent pas de temps, quatre enzymes impliquées dans le processus de décomposition ont été dosées dans des extraits de sol et de résidus végétaux.

Les résultats de ces dosages seront discutés en relation avec les cinétiques de minéralisation du C des feuilles et des racines de maïs. Nous attendons de cette combinaison des avancées quant à 1) l'identification de la provenance des enzymes au cours du processus de décomposition et 2) l'utilisation des dosages enzymatiques comme révélateur de fonctions essentielles du processus de décomposition en relation avec la nature du substrat à hydrolyser.

Mots clés : décomposition, résidus végétaux, qualité chimique, enzyme.

Références :

- Bertrand et al. 2009, *Bioresource Technology* 100, 155-163.
- Bertrand et al. 2006, *Plant Soil* 281, 291-307.
- Caddish G and Giller KE, 1997 *Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK.
- Poll et al., 2008, *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 1306-1321.
- Sinsabaugh et al. 1992, *Soil Biology & Biochemistry*, 24, 743-749.

Caractérisation de fractions organiques de sédiments de rivières plus ou moins anthropisés et de l'impact de la biodégradation : intérêt de l'utilisation de la ESI FTICR MS

Isabelle Auvray⁽¹⁾, Jacques Berthelin⁽¹⁾, Philippe Schmitt-Kopplin⁽²⁾, Norbert Hertkorn⁽²⁾ and Moritz Frommberger⁽²⁾

i.auvray@antea-ingenierie.fr
jacques.berthelin@limos.uhp-nancy.fr

⁽¹⁾ *LIMOS UMR 7137 CNRS – Nancy Université, Faculté des sciences, BP 239, F-54506 Vandoeuvre-les Nancy, France*

⁽²⁾ *GSF - Institute of Ecological Chemistry, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Neuherberg, Germany*

Les sédiments de rivières sont des réservoirs de matières organiques et de constituants organo-minéraux qui sont sources ou puits de nutriments et de polluants. La réactivité et la biodégradabilité des matières organiques et par conséquent l'accumulation ou la libération de nutriments et polluants sont contrôlées par des paramètres physiques, chimiques et biologiques impliquant l'activité microbienne comme un des facteurs principaux

La nature et la réactivité des matières organiques des sédiments de rivières sont relativement peu étudiées et mal définies. Pour les préciser, des incubations de 4 mois, dans des réacteurs fermés, en conditions biotiques et abiotiques, aérobies et anaérobies, ont été conduites avec des sédiments plus ou moins pollués du bassin de la Moselle. Avant et après incubation, différentes caractérisations ont été effectuées (e.g. analyses chimiques) sur les principales fractions, hydrosolubles, lipidiques (extrait CHCl₃), acidosolubles (après dissolution des carbonates, composés de type fulvique) et alcalinosolubles (composés de type humique et fulvique) pour déterminer leur nature et leur transformation. En complément des méthodes chimiques classiques et pour mieux définir ces constituants organiques, les fractions sont analysées par spectromètre de masse de haute résolution, à ionisation par électrospray et résonance cyclotronique ionique à transformée de Fourier (ElectroSpray Ionization - Fourier-Transform Ion Cyclotron Resonance - Mass Spectrometry : ESI FTICR MS).

De grandes différences entre les sédiments pollués et non pollués sont observées avant biodégradation. De faibles quantités de carbone organique mais un grand nombre de composés (formules brutes validées) sont présents dans les fraction hydrosolubles et acidosolubles des 2 sédiments présentés (entre 0,7 et 1,8 % COT – Carbone Organique Total), mais les fractions alcalinosolubles (saponifiables) et résiduelles sont plus riches dans le sédiment non pollué (respectivement 35,4 et 18,3 % COT) et pollué (14,2 et 76,1 % COT). Les diagrammes de van Krevelen, déterminés par ESI FTICR MS, montrent que le sédiment pollué possède plus de composés soufrés que le non pollué. La fraction lipidique représente par ailleurs environ 24 % du COT du sédiment pollué et seulement 4 % du COT du sédiment non pollué.

Après incubation, la fraction résiduelle est enrichie en carbone organique, au détriment de la fraction alcalinosoluble, pour le sédiment non pollué. C'est l'inverse pour le sédiment pollué. Selon les conditions d'incubation, des changements dans les diagrammes de van Krevelen sont observés dans presque toutes les fractions tant pour le nombre que la répartition des composés. Des processus comme l'oxygénation, la condensation et la biodégradation des composés se manifestent. Selon le sédiment et les fractions, le nombre de composés organiques détectés et validés par ESI FTICR MS augmente ou diminue au cours des incubations (entre 500 et 1500 formules brutes CHO, validées selon les fractions et sédiments). Pour expliquer ces évolutions, différents processus (biodégradation, biotransformation, minéralisation) peuvent être proposés.

Impact du changement d'utilisation des terres sur la qualité et la stabilisation de la matière organique des sols des systèmes semi-arides du Chaco Argentin

Baptist F.¹, Conti G.², Díaz S.², Thedevuide C.¹, Rumpel C.³

¹ *Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR CNRS-UJF 5553, Université de Grenoble, BP 53, F-38041 Grenoble Cedex 09, France.*

² *Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET – FCEFyN), Universidad nacional de Córdoba, Casilla de Correo 495, 5000 Córdoba, Argentina*

³ *BIOEMCO, UMR 7618, CNRS-INRA-ENS-Paris 6, Bâtiment EGER, Aile B, 78820 Thiverval-Grignon, France.*

La dynamique des écosystèmes en réponse à différents modes d'utilisation des terres est actuellement considérée comme une thématique prioritaire. En effet, les différents modes de gestion peuvent fortement affecter les services rendus par les écosystèmes, et notamment la séquestration du carbone. En Amérique du sud, la transformation de vastes étendues boisées en culture ou en friche conduit à des changements dans la capacité des sols à séquestrer le carbone. C'est particulièrement le cas dans le Gran Chaco qui couvre plus d'un 1.200.000 km². L'IAI (Inter-American Institute for global change) finance actuellement un projet (DiverSus) qui a pour objectif de préciser les services rendus par ces écosystèmes en relation avec le changement d'utilisation des terres.

L'objectif de notre étude, qui s'inscrit dans ce programme, était de déterminer comment les modes de gestion affectent la biodégradation et la stabilisation de la matière organique contenus dans les sols le long d'un gradient de déforestation. Au long de ce gradient, nous avons choisi six situations allant de la forêt primaire jusqu'au sol cultivé. Les stades intermédiaires se caractérisent par une proportion décroissante d'espèces arborées. Les sols sont des sols calcaires qui se situent dans un climat aride de la région du Gran Chaco en Argentine. Actuellement, peu de données sont disponibles sur la dynamique de la MOS dans ces conditions.

Nous avons, dans un premier temps, analysé la composition élémentaire du sol le long du gradient de perturbation. Par la suite, différentes techniques ont été appliquées afin de caractériser la matière organique des sols. Nous avons notamment quantifier (1) la concentration en molécules chimiquement récalcitrantes comme la lignine, (2) les matières organiques particulaires (POM), correspondants aux matières organiques non stabilisées et (3) les matières organiques adsorbées à la phase minérale après déminéralisation.

Nos premiers résultats montrent que la teneur en MOS est de l'ordre de 5 % dans le sol de surface (0-10 cm) sous forêt primaire, ce qui est faible. La concentration et la composition des lignines dans les sols de surface montrent, que la teneur en lignines diminue le long du gradient de déforestation. Toutefois, une diminution significative a été notée seulement dans des situations sous culture. L'état de décomposition des lignines augmente après passage de la forêt primaire en forêt secondaire, mais diminue dans les autres situations. Nous concluons, que l'interaction entre apport des MOS par des différentes végétations et sa stabilisation est complexe et sa compréhension nécessite une caractérisation détaillée au niveau moléculaire.

Modèles de dynamique du carbone sans microorganisme : quels risques pour prédire en environnements changeants ?

P. Barré¹, S. Barot¹, C. Chenu¹, M.-F. Dignac¹, T. Eglin², P. Garnier³, C. Girardin¹, B. Guenet¹, J. Leloup¹, C. Neill¹, N. Nunan¹, X. Raynaud¹, L. Ruamps¹, C. Rumpel¹

¹ Laboratoire BIOEMCO, UMR 7618, Thiverval-Grignon ou Paris

² LSCE, UMR 1572, Gif-sur-Yvette

³ Laboratoire EGC, Thiverval-Grignon

Bien qu'ils soient les acteurs de la minéralisation du carbone, les micro-organismes du sol ne sont généralement pas pris en compte explicitement dans modèles numériques de dynamique du carbone dans les sols. Si cette simplification n'a pas été trop pénalisante pour modéliser de manière correcte les dynamiques de stocks de carbone d'essais longue durée (Smith et al., 1997), elle pourrait s'avérer plus problématique pour prédire l'évolution des stocks de carbone en conditions environnementales changeantes.

Notre poster présente un modèle conceptuel de décomposition des matières organiques des sols prenant explicitement en compte l'influence des processus microbiens. Cette approche conceptuelle est ensuite comparée avec les représentations des processus microbiens utilisées dans CENTURY (modèle de décomposition des MOS généralement couplé aux modèles de biosphère spatialisés). Cette comparaison permet de mettre en relief les interrogations soulevées par l'utilisation de Century dans un environnement soumis aux changements globaux.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet « Carbosoil » financé par le GIS « climat-environnement-société ».

Smith P, Smith JU, Powlson DS, McGill WB, Arah JRM, Chertov OG, Coleman K, Franko U, Frolking S, Jenkinson DS, Jensen LS, Kelly RH, Klein-Gunnewiek H, Komarov AS, Li C, Molina JAE, Mueller T, Parton WJ, Thornley JHM, Whitmore AP (1997) A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma* 81, 153-225.

Rôle de la composition biochimique de racines de maïs sur leur décomposition dans le sol à long terme : caractérisation et modélisation avec le modèle Roth-C.

Isabelle Bertrand, Gaylord E. Machinet, Brigitte Chabbert, Sylvie Recous

INRA, UMR614 Fractionnement des Agro-Ressources et Environnement, F-51000 Reims (isabelle.bertrand@reims.inra.fr)

La composition biochimique des résidus de culture est un des facteurs qui influence fortement leur décomposition dans les sols (Heal et al., 1997). Les représentations actuelles de la qualité biochimique dans les modèles de biotransformations du carbone et de l'azote sont imparfaites, notamment pour les racines des végétaux pour lesquelles les références sont moins nombreuses (Rasse et al., 2005). Les racines étant des organes particulièrement riches en parois cellulaires lignifiées, la nature et la structure des parois influencent significativement les cinétiques de minéralisation de C à court et long terme (Bertrand et al., 2006).

Pour examiner cette hypothèse, nous avons tiré profit de l'impact d'une variabilité génétique de la composante pariétale de racines de maïs récoltées au champ à partir de 16 génotypes obtenus à partir d'hybrides et de deux lignées parentales avec leurs mutants naturels brown-midrib (utilisés dans les études de digestibilité des fourrages). Ces racines ont été caractérisées pour leur teneur en paroi, leur teneur et composition en polysaccharides pariétaux, leur teneur et composition de la lignine, leur teneur en acides phénoliques. Les incubations ont été menées en conditions contrôlées à 15°C et -80 kPa, pendant 800 jours. Les génotypes ont présentés des qualités chimiques contrastées au niveau des parois cellulaires, notamment sur les teneurs en sucres et en lignine. Ces variations ont induit des différences importantes dans les cinétiques de minéralisation du C, avec des taux cumulés de minéralisation variant de 42 à 70 % du C apporté.

Le modèle Roth-C (Coleman et Jenkinson, 1999) représente la qualité chimique des résidus végétaux par deux compartiments, un compartiment labile (DPM) et un compartiment récalcitrant (RPM). L'utilisation des paramètres standards du modèle n'a pas permis de simuler correctement les cinétiques de minéralisation du carbone. Les résultats obtenus par ajustement du paramètre DPM/RPM du modèle sont discutés, en relation avec les caractéristiques chimiques initiales des racines.

Mots-clés : carbone, minéralisation, modélisation, qualité chimique, racines,

Références :

- Heal et al. 1997, Driven by nature, Cab International 3-30.
- Rasse et al. 2005 Plant Soil 269, 341-356
- Bertrand et al. 2006, Plant Soil 281, 291-307.
- Coleman & Jenkinson 1999, Lawes Agricultural Trust, Harpenden.

Impact du réchauffement climatique sur la dynamique de la matière organique dans une tourbière tempérée.

Frédéric Delarue, Fatima Laggoun-Défarge, Nathalie Lottier, Sébastien Gogo, Jean-Robert Disnar.

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, Campus Géosciences, Université d'Orléans/CNRS/Université de Tours (UMR 6113), 1A Rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

frederic.delarue@univ-orleans.fr

Les tourbières sont d'importants puits de carbone (C) atmosphérique et en contiennent près de 455Gt, soit environ 1/3 du C total des sols mondiaux (Gorham, 1991)¹. Dans le contexte actuel de changement climatique, les tourbières, principalement celles situées en zones boréale et subarctique, seront de plus amenées à subir un réchauffement important (IPCC, 2007). Ainsi, ces stocks de C sont susceptibles de subir une minéralisation accrue et d'affecter significativement le cycle global du C par le biais des rétroactions. La réponse des tourbières à ce réchauffement climatique demeure complexe en raison de la variabilité spatiale du climat et de la complexité du fonctionnement des tourbières.

Dans ce cadre, l'un des objectifs du projet ANR *PEATWARM*² (voir résumé Laggoun-Défarge et al., ce séminaire), concerne l'impact d'une hausse modérée (1 à 3°C) de la température sur la dynamique des matières organiques (MO) labiles et récalcitrantes d'une tourbière ombrotrophe (Le Forbonnet) située dans le Jura (Doubs, commune de Frasné). Le rehaussement de la température est assuré grâce à l'installation *in situ* d'un dispositif expérimental (Open Top Chambers, OTCs). 6 placettes témoins et 6 placettes avec OTCs ont été mises en place dans 2 zones distinctes : une zone de haut-marais à tendance sèche dite « DRY » et une zone de marais de transition en situation plus humide dite « WET » définies suivant le niveau de la nappe d'eau et la composition floristique de surface (DRY : *S. magellanicum* ; WET : *S. angustifolium* et *S. fallax*). Dans chaque placette, 4 piézomètres (1 piézomètre pour la mesure de la hauteur de la nappe d'eau et 3 piézomètres sélectifs pour récupérer l'eau à 3 profondeurs : 15, 25 et 40 cm) ont également été mis en place.

La première campagne de prélèvement (juin 2008) a permis l'extraction de 12 carottes de tourbe (de 50 cm de long) dans les 12 placettes (témoin et OTCs) pour la caractérisation de l'état initial (t0) de la tourbe en condition DRY et WET. 6 de ces carottes sont actuellement en cours d'analyse pour une caractérisation globale (pyrolyse Rock Eval, microscopie optique, analyse élémentaire...) et moléculaire (sucres, acides aminés) de la matière organique.

Les premiers résultats montrent une tourbe peu dense (0,02 – 0,09 g/cm³), présentant de fortes teneurs de C organique (≈ 40%) et dans l'ensemble une faible décomposition [fort taux de fibres, faible indice pyrophosphate (IPP)]. Celle-ci est globalement croissante avec la profondeur (hausse de l'IPP, du carbone récalcitrant et des fractions de mucilage microbien et/ou fongique). Cependant, certains niveaux, bien que profonds, présentent une décomposition moindre compte tenu de leurs sources botaniques. Dans l'ensemble, quelles que soient les conditions (DRY ou WET), la tourbe présente une variabilité (latérale et verticale) dans sa composition biochimique et micromorphologique. Elle traduit probablement une diversité des sources floristiques et/ou des conditions environnementales.

Les paramètres de la pyrolyse Rock Eval, particulièrement l'indice d'oxygène (IO) montrent que la MO de la tourbe de surface est plus riche en oxygène dans la zone DRY que WET, et est ainsi plus apte à une décomposition aérobie. Ainsi, le réchauffement devrait affecter préférentiellement la tourbe superficielle de la zone DRY.

¹ Gorham E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1(2): 182-195.

² PEATWARM, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (programme Vulnérabilité-Milieus-Climats 2007) pour 4 ans (2008 – 2011) regroupe 7 partenaires : Orléans, Besançon, Rennes, Poitiers, Nancy, Montbéliard et Lausanne. Coord. F. Laggoun-Défarge (ISTO, Orléans).

Marqueur organiques et impact des activités humaines sur la sédimentation lacustre récente du lac d'Aydat (Puy-de-Dôme)

Jean-Robert Disnar¹, Jérémy Jacob¹, Marlène Lavrieux¹

¹ Institut des Sciences de la Terre d'Orléans. Université d'Orléans/Université François Rabelais de Tours, UMR 6113 du CNRS/INSU. 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans.

L'étude des sédiments récents (<50 ans) prélevés au centre du lac d'Aydat y a révélé une composition de la matière organique dominée par des apports issus de la production autochtone de cyanobactéries et de diatomées. Néanmoins, un fond relativement constant d'apports allochtones terrestres se signale par de faibles teneurs de lignine, avec aussi des apports ponctuels de matériel végétal plus fragile (cellulose/hémicelluloses), vraisemblablement à la faveur d'événements exceptionnels (crues, tempêtes...). Dans un contexte a priori conforme au statut eutrophe du lac, une forte augmentation du rapport acide/aldéhyde vanillique Vac/Vad, qui s'interprète a priori par une oxydation accentuée de débris (litière ?) de résineux, demeure difficile à expliquer. Indépendamment, les distributions des hydrocarbures aromatiques montrent la présence presque exclusive de 2 tétrahydrochrysènes (ou TTHCs), avec des variations d'abondance parallèles à celles du rapport Vac/Vad. Les TTHCs sont des composés polycycliques, aromatiques (donc très résistants), qui dérivent de la dégradation partielle, dans les sols, de triterpènes végétaux ubiquistes, les α et β -amyrines. Leur présence au sein des sédiments y signe donc très vraisemblablement des apports pédologiques. Dans cette hypothèse, les deux signaux indépendants portés par la lignine et les TTHCs sont vraisemblablement liés aux perturbations dans le bassin versant du lac induites par les travaux du Remembrement, avec notamment l'élimination de haies et le redressement du cours de la rivière Veyre qui alimente le lac. Conformément à cette hypothèse cette perturbation débiterait vers 1965, atteindrait un maximum vers 1976, année aussi marquée par une crue et une sécheresse exceptionnelles. Après un retour au calme vers le milieu des années 1990 une nouvelle perturbation peut être attendue, à la suite d'une restauration des méandres de l'ancien cours de la Veyre qui doit être entreprise sur tout un tronçon en amont du lac. L'incidence de ces perturbations sur l'eutrophisation du lac demeure à préciser.

Changements environnementaux enregistrés par la matière organique dans un site d'altitude (Le Lac d'Anterne, 2063 m)

Charline Giguet-Covex¹, Jérôme Poulenard², Jean-Robert Disnar³, Fernand David⁴, Jérôme Lazzarotto⁵, Fabien Arnaud¹, Jean-Jacques Delannoy¹

1 EDYTEM. CNRS - Université de Savoie. Campus universitaire. 73376 Le Bourget du Lac

2 CARTELE. INRA - Université de Savoie. Campus universitaire. 73376 Le Bourget du Lac

3 ISTO UMR 6113 CNRS - 1A, rue de la Férollerie 45071 Orléans cedex 2

4 CEREGE UMR 6635 CNRS - Université P. Cézanne. 13545 AIX EN PROVENCE cedex 04

5 INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre - 75 avenue de Corzent - BP 511 - 74203 Thonon-les-Bains

Les milieux d'altitude étant très sensibles aux variations du climat, on peut se demander quelles sont les conséquences du réchauffement climatique sur ces environnements. Les sédiments lacustres constituent une archive particulièrement intéressante pour répondre à ce type de problématiques. Cependant, ils enregistrent aussi les changements environnementaux, autrement dit les changements dans l'état du bassin versant qui ne sont pas nécessairement liés au climat mais parfois à l'occupation humaine. Les analyses qualitatives et quantitatives de la matière organique (MO) présentent un intérêt car elles peuvent être utilisées pour reconstituer les changements environnementaux et donc pour mieux interpréter nos enregistrements sédimentaires en termes de climat. L'enregistrement sédimentaire du Lac d'Anterne (Alpes du Nord occidental) fait l'objet d'une étude multi-paramètre (sédimentologie, géochimie minérale et organique). Parmi ces paramètres l'évolution de la matière organique a été reconstituée par différentes méthodes (Pyrolyse Rock Eval ; C, H, N et spectroscopie infrarouge (IR)) afin de mettre en évidence et d'expliquer des changements environnementaux ayant eu lieu au cours de l'Holocène. Pour cela une approche source/puits a été mise en œuvre. Une étude spatiale a permis de caractériser la MO des différents types de sols du bassin versant. Ces résultats ont été ensuite utilisés pour interpréter l'évolution de la matière organique piégée dans les sédiments d'une carotte lacustre de 20 m couvrant la majeure partie de l'Holocène. La description lithologique de la carotte a permis de mettre en évidence trois unités principales : une unité supérieure pauvre en MO (0-4000 cal. BP), une unité intermédiaire riche en MO (4000-8400 cal. BP) et une unité basale à nouveau pauvre en MO (8400- >9000 cal. BP). Au tout début de l'Holocène, la pyrolyse rock eval montre une proportion importante de matière organique fossile difficilement dégradable (provenant des terres noires du bassin versant). L'augmentation du COT dans l'unité intermédiaire traduit principalement des apports de MO issue des végétaux supérieurs, traduisant une végétalisation progressive (1500 ans) du bassin versant. A partir de 4000 cal BP on note une importante dilution de la MO par les apports détritiques sans changement notable de la contribution de la MO fossile. Les changements environnementaux ainsi décrit correspondent aux observations palynologiques effectuées sur différentes séries de tourbe du massif Pormenaz-Anterne.

Suivi par fractionnement densimétrique de l'incorporation de l'azote de litières de hêtres marquées dans les associations organo-minérales

**Pierre-Joseph HATTON (1,2), Delphine DERRIEN (2), Markus KLEBER (1),
Kate LAJTHA (3), Bernd ZELLER (2)**

(1) Department of Crop and Soil Science, Oregon State University, USA

(2) Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, INRA-Nancy, France

(3) Department of Botany and Plant Pathology, Oregon State University, USA

En raison de leur biochimie, les composés azotés du sol ont longtemps été supposés majoritairement labiles et biodégradables. De nombreuses études ont cependant montré qu'en dépit des difficultés rencontrées pour les quantifier (Rillig et al., 2007), ces composés sont particulièrement stables (Sollins et al., 2007). Cette stabilisation peut, entre autres, s'expliquer par interaction avec des phases minérales et formation complexes organo-minéraux.

Afin d'explorer la part des associations organo-minérales dans la stabilisation de l'azote, nous avons suivi l'incorporation d'azote marqué (^{15}N) dans des fractions densitométriques séquentielles de deux Alocrisols forestiers acides (Steinkreuz, Allemagne et Fougères, France). Les échantillons furent collectés 8 et 12 ans après application de litières de hêtre enrichies en ^{15}N (marquage) ou non (abondance naturelle) sur les 2,5 premiers centimètres de l'horizon A. Le traceur ^{15}N a été suivi dans des fractions de densité croissante ségrégant la matière organique libre (fractions légères) et les associations organo-minérales (fractions denses). Sur chacune des sept fractions isolées de chaque modalité, les caractéristiques organiques (concentrations en carbone (C) et en azote (N) ; ratio C/N ; ^{13}C et ^{15}N) et minérales (oxalate et dithionite) ont été mesurées et les distributions relatives du ^{15}N et de l'azote total calculées.

En abondance naturelle, nos résultats corroborent l'observation selon laquelle le caractère microbien de la matière organique du sol (MOS) s'accroît à mesure que la densité des fractions augmente, suggérant un arbitrage microbien des interactions entre MOS et surfaces minérales. Dans les deux sols, nous observons que le traceur ^{15}N a été incorporé dans toutes les fractions de sol. Deux tiers du ^{15}N se trouve dans les fractions légères, concentrant la matière organique libre, tandis que le tiers restant est incorporé dans les fractions denses, au sein d'associations organo-minérales. Nous concluons donc que ces associations organo-minérales sont des entités relativement réactives à l'échelle de la décennie.

Reconstitution de la dynamique des matières organiques des sols lors d'une rotation sylvicole

Mickaël Hedde*, Philippe Delporte, Michaël Aubert, Thibaud Decaëns, Fabrice Bureau

Laboratoire d'Ecologie, ECODIV, UPRES-EA 1293, UFR Sciences et Techniques, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France

** Adresse actuelle: INRA PESSAC, 78026 Versailles CEDEX, Email: mhedde@versailles.inra.fr*

Une estimation précise de la dynamique des matières organiques (MO) dans les écosystèmes forestiers est cruciale pour prédire les modifications du cycle du C à l'échelle globale. Dans le travail présenté ici, les stocks de C ont été quantifiés dans les sols d'une chronoséquence forestière gérée en futaie régulière de hêtre (28 à 197 ans, en Normandie). De plus, l'épisolum humifère et l'horizon organo-minéral de ces sols ont été séparés en fractions granulométriques afin d'appréhender plus finement la dynamique des MO. Les fractions suivantes ont été isolées: débris grossiers (>2000 µm), MO particulières grossières (cMOP, 200–2000 µm), MO particulières fines (fMOP, 50–200 µm) et substances humiques liées à la fraction minérale (hMO, <50 µm).

Les stocks de C du sol des différentes phases du cycle sylvicole ne sont pas significativement différents et indiquent le faible impact de cette rotation forestière sur la séquestration du C dans les sols. Toutefois, les stocks en C des horizons holorganiques et organo-minéraux varient en fonction des stades sylvicoles bien que les caractéristiques morphologiques (poids, épaisseur) soient très semblables. Le fractionnement granulométrique permet de discuter différents aspects des changements quantitatifs et qualitatifs qui interviennent durant cette rotation forestière. Notamment, le C associé à la fraction hMO ne varie pas entre les stades sylvicoles, révélant la résistance des substances humiques face à l'exploitation des hêtres et aux pratiques de régénération du peuplement.

Ce travail confirme que les pratiques sylvicoles peuvent avoir uniquement de faibles effets sur les stocks de C des sols et de l'épisolum humifère. Les modifications à court et à long terme peuvent être complexes et impliquer des mécanismes dont les effets sont opposés.

Impact du réchauffement climatique sur la fonction de puits de carbone des tourbières à sphaignes en domaine tempéré.

Fatima Laggoun-Défarge¹, Alexandre Buttler^{2,3}, Daniel Epron⁴, André-Jean Francez⁵, Daniel Gilbert², Laurent Grasset⁶, Christophe Guimbaud⁷.

¹*Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, Campus Géosciences, Université d'Orléans/CNRS/Université de Tours (UMR 6113), 1A Rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2*
fatima.laggoun-defarge@univ-orleans.fr

²*Chrono-Environnement, UMR 6249, Besançon (F) & ³EPFL, Lausanne (CH)*

⁴*Ecologie et Ecophysiologie Forestières, INRA UMR 1137 – Nancy*

⁵*ECOBIO UMR 6553 CNRS – Université de Rennes*

⁶*Synthèse et Réactivité des Substances Naturelles, UMR 6514 CNRS – Université de Poitiers*

⁷*Lab. de Physique & Chimie de l'Environnement, UMR 6115 CNRS – Université d'Orléans*

Dans la perspective d'un réchauffement global, l'un des scénarii probables conduit à l'accélération de la décomposition de la matière organique (MO) et par conséquent à l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère. Or, les modèles biogéochimiques de décomposition de la MO ont jusqu'alors été établis pour des sols à teneur en MO moyenne à faible, et très peu de données sont disponibles concernant les tourbières. Pourtant ces écosystèmes sont reconnus pour être parmi les plus efficaces pour le stockage du carbone (C) à l'échelle du globe. De plus, à elles seules, les tourbières boréales renferment près d'un tiers du stock de C contenu dans l'ensemble des sols mondiaux (Gorham, 1991¹) participant ainsi à la régulation du cycle global des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄) et, plus généralement, à celle du climat de la planète.

L'objectif du projet PEATWARM² est d'utiliser des tourbières à sphaignes comme milieu modèle et d'en analyser la vulnérabilité dans un contexte de changement climatique grâce à un dispositif expérimental simulant *in situ* une augmentation de la température moyenne. Le but est donc de déterminer dans quelle mesure le réchauffement climatique est susceptible de modifier le fonctionnement des tourbières dans les régions tempérées et donc d'altérer leur fonction de puits de carbone. Plus précisément, ce projet vise à évaluer les effets d'une hausse modérée de la température sur (1) la végétation, (2) le bilan des flux de C en surface et en profondeur (notamment au travers de la signature isotopique du CO₂ respiré), (3) la diversité et l'activité microbiennes dans les sphaignes et dans la tourbe, et (4) la dynamique des MO labiles et récalcitrantes du substrat tourbeux. *In fine*, l'objectif est l'élaboration d'un modèle biogéochimique du C couplé aux cycles N et S en prenant en compte les interactions entre ces compartiments clés et visant à extrapoler l'évolution du système sur les deux prochaines décennies.

Le dispositif expérimental est basé sur le protocole standard du réseau ITEX (International Tundra EXperiment) qui permet de simuler une hausse modérée de la température grâce à des chambres transparentes à toit ouvert (hexagones en polycarbonate) ou *Open Top Chambers* (OTC) installées *in situ*. Le scénario climatique imposé dans les OTCs est un rehaussement de la température de 1 à 3°C représentatif des scénarii futurs dans la zone d'étude (IPCC, 2007).

Le site expérimental (le Forbonnet, Jura, commune de Frasnay) est une tourbière ombrotrophe de fin de bas-marais – début de haut-marais caractérisée par un fort taux d'accumulation de MO et ayant la particularité d'avoir peu ou pas été perturbée par les activités humaines. 6 placettes témoins et 6 placettes avec OTCs ont été mises en place en mai 2008 dans 2 zones distinctes : une zone de haut-marais à tendance sèche dite « Dry » et une zone de marais de transition plus humide dite « Wet ». Dans chacune des placettes, un suivi physico-chimique et biochimique saisonnier des eaux à différentes profondeurs est effectué. Une première campagne de terrain effectuée en juin 2008 a permis de prélever 12 carottes de tourbe (50 cm de long) pour une caractérisation de l'état initial (t₀) de la tourbe et des sphaignes.

¹ Gorham E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1(2): 182-195.

² PEATWARM, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (programme Vulnérabilité-Milieus-Climats 2007) pour 4 ans (2008 – 2011) regroupe 7 partenaires : Orléans, Besançon, Rennes, Poitiers, Nancy, Montbéliard et Lausanne. Coord. F. Laggoun-Défarge (ISTO, Orléans).

Caractéristiques et propriétés structurales des matières organiques solubles des horizons superficiels et profonds d'un sol arable

Lavaud A ¹, Chabbi A ^{2,3} et Croué J-P ¹

¹ LCME-UMR CNRS 6008 -Université de Poitiers, ² UEFE-INRA Lusignan, ³ BioEMCO-CNRS,

Il est communément admis que le Carbone Organique Dissous (COD) est la fraction bio-disponible la plus importante de la matière organique des sols (MOS) même si elle n'en représente qu'une très faible proportion. Malgré une littérature abondante, les études concernant le COD sont principalement limitées aux sols forestiers du fait de l'important stock de carbone (440–620 x 10¹⁵ g C). L'étude des facteurs gouvernant la dynamique du COD dans les systèmes dits perturbés et pauvres en C (horizons profonds < 1 m) reste peu abordée. L'objectif de nos travaux est de mieux définir la proportion des matières organiques dissoutes (MOD) des différents horizons (notamment les horizons profonds) d'un sol arable et préciser leurs principales caractéristiques et propriétés structurales.

L'étude a été conduite sur le dispositif expérimental de l'ORE – ACBB (Observation de Recherches en Environnement – Agro-écosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité) de Lusignan. Pour évaluer la composition de l'eau qui percole dans le sol en dessous de la zone d'enracinement (1 m de profondeur), deux systèmes complémentaires ont été mis en place durant l'année 2004 :

1. un système de 40 plaques lysimétriques (PL) (soit 8 plaques par traitement expérimental) permettant de récolter l'eau gravitaire qui sort du système en dessous de la zone d'enracinement : profondeur 120 cm.
2. un système de 60 bougies poreuses (BP) (soit 15 bougies par traitement) dont 12 sont dédiées pour suivre le devenir des pesticides dans le sol. Ces bougies sont également insérées à une profondeur de 105 cm.

La MOD des PL/BP et d'un horizon de surface a été isolé à l'aide de résines (protocole des eaux naturelles). Les 3 fractions (PL/BP – horizon de surface) ont été caractérisées par une grande variété d'outils analytiques : Infrarouge, pyrolyse GC/MS, RMN ¹³C, SEC/UV/FLUO.

Les résultats montrent que les eaux collectées au niveau des horizons profonds contiennent des MO dont la teneur et les propriétés structurales s'apparentent à celles des eaux souterraines (faible SUVA (1,2 m⁻¹.L.mg C⁻¹), COD, structures de faibles masses moléculaires). Le suivi de la dynamique de la teneur en COD n'a, par contre, pas permis de mettre en évidence des différences significatives entre les différents modes d'occupation (prairie vs culture). Cependant on peut noter que la mise en place des traitements est relativement récente. Toutefois, la dynamique temporelle montre une légère augmentation de la teneur en COD quelles que soient les parcelles étudiées. Les concentrations en COD entre l'hiver et le milieu du printemps ont tendance à doubler passant ainsi de 1 à 2,5 mg/L puis jusqu'à 4-5 mg/L en été. L'analyse structurale des extraits révèle que les MOD présentes dans les horizons profonds seraient constituées de dérivés de terpénoïdes, hypothèse supportée par les données de ¹³C RMN, Infra Rouge et Micro Sealed Scale Vessel/pyrolyse GC/MS. Les profils chromatographiques obtenus en pyrolyse flash GC/MS mettent en évidence la présence de phénol et alkyle phénols, attribués généralement à des structures polyhydroxyaromatiques (lignines/tannins), mais aussi d'acétamide, produit de pyrolyse des sucres aminés constituants de la paroi des cellules microbiennes. La thermochimie (TMAH)/GC/MS a confirmé la présence de structures aromatiques hydroxylées dans les extraits cependant, leur origine précise (lignines, tannins...) reste incertaine. Des lipides à courtes chaînes (< C26, origine microbienne ??) ont également été détectés.

Les travaux effectués jusqu'à présent ont permis de montrer que la MOD des horizons profonds est marquée par une faible aromaticité et une faible masse moléculaire. Ce carbone serait constitué de dérivés de terpénoïdes, de lignines dégradées et de sucres aminés.

Cortèges lipidiques associés aux niveaux archéologiques de l'âge du Bronze Final et préservés en contexte sub-aquatique littoral (Lac du Bourget, Savoie).

Marlène Lavrieux¹, Jérémy Jacob¹, Jean-Robert Disnar¹, Yves Billaud², Fabien Arnaud³, Emmanuel Chapron¹, Jean-Gabriel Bréheret¹.

¹ *Institut des Sciences de la Terre d'Orléans. Université d'Orléans/Université François Rabelais de Tours, UMR 6113 du CNRS/INSU. 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans.*

² *Ministère de la Culture, DRASSM 58 bis rue des Marquisats 74000 Annecy, France.*

³ *EDYTEM, UMR 5204 du CNRS/Université de Savoie, Campus Savoie Technolac, F-73376, le Bourget du Lac, France.*

L'âge du Bronze est une période clé de l'histoire humaine dans les Alpes. De nombreuses occupations littorales lacustres témoignent en effet d'une anthropisation accrue des milieux alpins à cette époque. Les phases d'occupation et d'abandon de ces habitats ont été en partie conditionnées par l'évolution des conditions climatiques. Une meilleure compréhension des interactions entre les populations, le climat et les milieux nécessite l'établissement de séries chronologiques à haute résolution permettant de retracer l'évolution combinée de ces trois facteurs à partir de marqueurs univoques de chacun.

Nos travaux récents sur une carotte de sédiments prélevée au centre du Lac du Bourget ont permis de reconstituer l'évolution des activités humaines et de leurs impacts sur l'érosion des sols depuis l'âge du Bronze, au moyen de biomarqueurs moléculaires spécifiques de la culture du millet et de l'érosion des sols. Ces résultats ont motivé la recherche de marqueurs d'anthropisation que nous sommes naturellement allés rechercher dans des niveaux d'occupation datés de l'âge du Bronze Final où ils sont, a priori, sur-représentés.

L'objectif de ce travail est double : (1) rechercher des marqueurs d'anthropisation qui pourront ensuite être appliqués sur des enregistrements sédimentaires plus classiques et (2) retracer l'évolution à haute résolution des conditions qui régnaient durant l'âge du Bronze Final autour du Lac du Bourget.

Sur la station de Châtillon (située au nord du lac et actuellement recouverte par trois mètres d'eau), deux carottes d'environ 70 cm de long ont été prélevées dans les niveaux archéologiques du Bronze Final et leur substratum de craie. La stratigraphie a été établie par le DRASSM au cours de sondages archéologiques subaquatiques. Les calages chronologiques sont basés sur le mobilier archéologique, la dendrochronologie et le radiocarbone.

Les niveaux archéologiques sont particulièrement bien conservés, avec une abondance de débris végétaux (copeaux de bois, brindilles, graines,...). Ils contiennent des tessons de céramique et, ponctuellement, des restes de coquilles (gastéropodes et bivalves). Sur chaque carotte les lipides d'une vingtaine d'échantillons ont été extraits aux solvants organiques, séparés en différentes fractions chimiques et analysés par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse.

Les bassins versants tropicaux humides de Guadeloupe : impact des changements climatiques sur la dynamique du carbone organique

E. Lloret¹, M.F. Benedetti¹, C. Dessert^{2,3}, J. Gaillardet³, P. Alberic⁴

¹*Equipe de Géochimie des Eaux, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), Université Paris-Diderot, Paris, France*

²*Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe, Guadeloupe, French West Indies*

³*Equipe de Géochimie et Cosmochimie, IPGP*

⁴*Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO)*

Afin de mieux comprendre le cycle global du carbone et l'impact qu'il peut avoir sur les changements climatiques, il est important de connaître/contraindre les différentes sources, flux et puits de carbone. La matière organique des sols ($\approx 1500\text{Gt}$ [1, 2]) est un des pôles majeurs de carbone sur Terre, il est donc important de comprendre sa dynamique.

Depuis les années 70, la fréquence et/ou l'intensité des événements climatologiques extrêmes (tempêtes, cyclones) a augmenté [3, 4], induisant une augmentation de l'export de matériel dissous et particulaire provenant des sols.

Les conditions d'altération sont optimales au niveau des régions tropicales humides [5], avec des températures et un runoff élevés. La Guadeloupe a été sélectionnée comme site d'étude pour sa situation géographique, géologique et ses taux d'altération chimique et de dénudation mécanique élevés [6, 7].

En 2007-2008, différentes campagnes ont été menées en Guadeloupe, un échantillonnage avec des résolutions temporelles différentes (mensuelles et horaires) pour trois petits bassins versants et avec un prélèvement biannuel de différentes rivières sur l'ensemble de la Basse Terre. Il a été mesuré les concentrations et flux de carbone organique dissous et particulaire (COD, COP) et de carbone inorganique dissous (CID), ainsi que des paramètres caractéristiques de l'origine de la matière organique (SUVA : Specific UV absorbance et le $\delta^{13}\text{C}$ du COD). Les concentrations en COD sont comprises entre 0.4 et 6.0 mg/L et ont tendance à augmenter quand le débit de la rivière augmente associé à un événement climatologique). Une corrélation positive est observée entre les flux de COD et de CID. Les données de SUVA et $\delta^{13}\text{C}$ indiquent que la matière organique qui est transportée durant les événements climatologiques a des caractéristiques chimiques différentes, et/ou une origine différente. Le flux annuel de carbone organique dissous d'une rivière a été estimé à $\approx 5.3 \text{ t/km}^2/\text{an}$, et un événement de type cyclone représente environ 4% de ce flux. Ce flux annuel est similaire au flux maximum calculé à Puerto Rico ($5.2 \text{ t/km}^2/\text{an}$, [8]) et au flux moyen de la « Grey River » en Nouvelle Zélande (climat océanique tempéré) ($5.2 \text{ t/km}^2/\text{an}$, [9]).

[1] Saliot (1994) *Oceanis* [2] Gregory et al. (1999) *Cambridge University Press*. [3] Emmanuel (2005) *Nature*, **436**. [4] Webster et al. (2005) *Science*, **309**. [5] Dessert et al. (2003) *Chem. Geol.*, **202**. [6] Louvat (1997) PhD. [7] Rad et al. (2006) *Journal of Geochemical. Exploration*, **88**. [8] McDowell and Asbury (1994) *Limnol. Oceanogr.*, **39**. [9] Carey et al. (2005) *Geoph. Res. Lett.*, **32**.

Quantité et stabilité du carbone accumulé dans le sol d'une plantation vingt ans après l'application de traitements sylvicoles intensifs

Émilie Maillard¹, Alison D. Munson¹ et David Paré²

¹ Centre d'Étude de la Forêt-Université Laval
2405 rue de la Terrasse
Québec (Québec) Canada
G1V 0A6

² Service Canadien des Forêts-Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S., C.P. 10380, Stn. Sainte-Foy
Québec (Québec) Canada
G1V 4C7

La capacité des sols forestiers à accumuler du carbone est une question d'intérêt majeur dans le contexte d'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère. Les interventions associées à l'établissement d'une plantation et à son entretien pourraient cependant influencer l'accumulation potentielle du carbone dans le sol via les impacts sur le microclimat, les espèces compagnes et la productivité primaire nette. La quantité de carbone accumulée ou perdue varie également selon le climat et l'essence plantée. La stabilité du carbone dans le sol varie en fonction de ces mêmes facteurs. Nous étudions une plantation de pin blanc (*Pinus strobus*) et d'épinette blanche (*Picea glauca*), qui est typique de la région des forêts des Grands Lacs et du St-Laurent (Canada).

Dans cette optique, notre étude a pour objectif de déterminer les effets à moyen terme (20 ans) de l'essence et de traitements intensifs - scalpage de l'horizon organique, fertilisation annuellement pendant 6 ans, contrôle de la végétation compétitrice avec phytocide pendant 4 ans - sur la quantité et la stabilité du carbone accumulé dans le sol (l'humus et le sol minéral). Ces traitements représentent un extrême d'altération des conditions écologiques via l'intervention sylvicole. Le dispositif expérimental factoriel à 4 blocs a été installé en 1986. En 2006, nous avons déterminé les teneurs et contenus en carbone dans quatre couches du sol : litière, couche FH, couche minérale de 0-15 cm, et couche minérale de 15-40 cm. La stabilité du carbone accumulé dans la couche FH a été évaluée en réalisant une incubation à long terme couplée à une hydrolyse acide dans le but d'estimer les fractions labile, lente et résistante du carbone. La fraction labile du carbone accumulé dans le sol minéral a, quant à elle, été estimée suite à une incubation à court terme.

Vingt ans après la mise en place de la plantation, le scalpage est le traitement qui a le plus d'effet sur la quantité de carbone accumulé dans le sol. Plus précisément, le sol n'a pas encore reconstitué sa réserve de carbone, vingt ans après le scalpage de l'horizon organique. L'étude a révélé des effets intéressants des traitements sylvicoles et des essences sur la stabilité du carbone et particulièrement sur sa fraction labile. Par exemple, le scalpage a augmenté la fraction labile du carbone accumulé dans la couche organique FH. Dans le sol minéral, la fraction labile du carbone est plus importante sous le pin blanc que sous l'épinette blanche et cet effet se retrouve au niveau de la taille du réservoir labile de carbone.

Pourquoi le modèle Century peut-il marcher ?

C. Neill¹

¹ Laboratoire BIOEMCO, UMR 7618, Paris

Le modèle Century est l'archétype du modèle simple où la matière organique du sol est découpée en boîtes et chacune de ces boîtes suit une cinétique de décomposition du premier ordre. Diverses tentatives visant à identifier les boîtes de Century à des fractions mesurables n'ont pas abouti (e.g. Six et al 2002). Vraisemblablement, les fractions couramment isolées (par densité, par taille...) n'ont pas une cinétique de décomposition du premier ordre dans les sols, présomption renforcée par l'observation (via marquages isotopiques) d'interactions fortes entre les cinétiques de décomposition de diverses fractions dans les sols (Kuzyakov et al 2000).

Supposer que les boîtes de Century sont des pools conceptuels, définis par leur temps de résidence moyen (MRT) ne résout pas le problème du lien avec le réel, mais ne fait que le reformuler, puisqu'il faut désormais modéliser la répartition de fractions réelles entre pools conceptuels : autant dire modéliser le MRT de fractions réelles, qui est susceptible de changer avec le temps et l'« environnement organique », comme indiqué précédemment.

En dépit de ces difficultés, le modèle Century n'a pas été abandonné, car il possède un bon pouvoir prédictif lorsque ses paramètres sont ajustés à partir de cinétiques « passées » (Smith et al 1997). Si c'est le cas, c'est sans doute parce que les données que nous cherchons à prédire (e.g. l'évolution des stocks en fonction des apports) peuvent être remarquablement simples (i.e. linéaires). Comment est-ce possible, quand on sait la complexité des processus de décomposition sous-jacents ?

Ce poster vise à montrer, à l'aide d'un modèle détaillé, figurant explicitement le rôle de la biomasse microbienne et capable de rendre compte d'interactions complexes (compétition, priming positif, utilisation préférentielle de substrats), que d'une complexité sous-jacente peut émerger dans certains cas des cinétiques simples, où la biomasse microbienne ne joue « apparemment » aucun rôle, même hors équilibre.

Kuzyakov et al, 2000. Review of the mechanisms and quantification of priming effects. *Soil. Biol. Biochem.* 32, 1485-1498.

Six et al, 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155-176.

Smith P et al, 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma* 81, 153-225.

Processus de transformation de la matière organique colloïdale aux interfaces dans les sédiments superficiels.

E. Parlanti^{1*}, S Relexans¹, D Amouroux², R Bridou², S Bouchet², H Etcheber³, G Abril³

¹ *Université de Bordeaux, CNRS, UMR 5255, ISM-LPTC, Laboratoire de Physico- & Toxicochimie de l'environnement, 351 cours de la Libération, Talence, F-33405 France*

² *Université de Pau et des Pays de l'Adour, CNRS, UMR 5034, LCABIE, av P. Angot, Pau, F-64053*

³ *Université de Bordeaux, CNRS, UMR 5805, EPOC, Avenue des Facultés, Talence, F-33405*

* *e.parlanti@ism.u-bordeaux1.fr*

Dans la plupart des environnements côtiers, les sédiments superficiels sont soumis à des oscillations redox provoquées soit par des remises en suspension soit par de la bioturbation. Dans les milieux dynamiques influencés par des apports fins continentaux (estuaires et vasières deltaïques) les remises en suspension périodiques sous l'effet des courants ou des tempêtes font passer le matériel sédimentaire de conditions oxiques à des conditions anoxiques. Dans les milieux côtiers très productifs tels que les lagunes, la macrofaune transporte des particules et des solutés entre la zone oxique superficielle et la zone anoxique sous-jacente. Dans les deux cas, il a été démontré que les oscillations redox avaient un effet accélérateur sur la dégradation de la matière organique. Le fonctionnement biogéochimique de tels systèmes redox oscillants est actuellement peu documenté et le devenir et la réactivité des contaminants dans ce type de système restent relativement méconnus. Au niveau expérimental le suivi in situ des ces phénomènes transitoires est quasi irréalisable.

L'objectif de cette étude était de simuler in vitro les oscillations oxiques / anoxiques caractéristiques des écosystèmes benthiques côtiers. En effet, ces dernières ont été décrites comme un état particulier du système, différent des strictes conditions d'oxie ou d'anoxie, capable de promouvoir de façon plus intensive la minéralisation de la matière organique et d'affecter les cycles des éléments. Ainsi, des suspensions de sédiments (« slurry ») provenant de stations de référence du Bassin d'Arcachon et de l'estuaire de l'Adour (sud-ouest de la France) ont été étudiés sous ces conditions. Le suivi global du système a concerné les paramètres diagénétiques majeurs (O₂, CO₂, pH, NO₃, NH₄, Fe, Mn, S, CH₄...) dans le « slurry » ainsi que le suivi qualitatif de la matière organique colloïdale.

Le microcosme mis en œuvre lors de cette étude a permis de simuler les cycles oxiques/anoxiques caractéristiques des systèmes intertidaux. 20 L de suspension de sédiment (slurry) ont été mis en agitation dans un réacteur hermétique d'un volume total de 25 L équipé de différentes sondes permettant de suivre les variations physico-chimiques du système. Un échantillonnage concomitant dans les phases solide, liquide et gazeuse a été réalisé de manière journalière dans les phases redox stables et de façon plus intensive pendant les phases transitoires.

Une étude qualitative des propriétés de la matière organique (MO) fluorescente a été réalisée par fluorescence 3D sur l'ensemble des points de l'expérience mais également sur certains échantillons fractionnés par ultrafiltration. Comme la MO est un mélange de macromolécules organiques avec un large éventail de taille moléculaire et de poids, elle a en effet été fractionnée en fonction de la taille moléculaire par ultrafiltration tangentielle. Chaque fraction isolée (filtrat et rétentat) a ensuite été caractérisée par fluorescence. Cette étude a montré d'importantes modifications de la MO fluorescente au cours des oscillations oxique / anoxiques. Le suivi de l'intensité des bandes de fluorescence permet d'estimer les concentrations relatives des différents fluorophores caractéristiques des différents types de MO dissoute. Les résultats montrent globalement des changements de concentration de la matière organique dissoute lors des phases de transition ainsi qu'une évolution rapide de la MO. L'usage de l'ultrafiltration permet d'observer des différences dans la taille des molécules entre les phases redox. Par exemple, le passage en phase oxique fait augmenter la proportion des molécules supérieures à 500 Da.

Les isotopes du carbone en tant que traceurs de la matière organique dans les hydrosystèmes continentaux

Anne-Catherine Pierson-Wickmann¹, Gérard Gruau¹, Emilie Jardé¹ et Thibault Lambert¹

⁽¹⁾Caren, UMR 6118 Géosciences Rennes, Campus Beaulieu, 35042 Rennes Cedex.

La concentration en carbone organique dissous (COD) dans les eaux continentales de surfaces, au cours des dernières décennies, a fortement augmenté dans les pays industrialisés. Comprendre les raisons de cette croissance est actuellement un enjeu majeur et économique important. En effet, les sources potentielles de COD dans les rivières et les retenues peuvent être directement liées au déstockage du carbone du sol, à la croissance algale dans les cours d'eau et les retenues. L'occupation des sols, avec la présence de parcelles agricoles ou forestières, les changements hydrologiques complexifient le cycle propre du carbone dans les hydrosystèmes.

Pour étudier les sources allochtones de COD dans les eaux de surface, notre étude s'est focalisée sur des bassins versants bretons d'ordre 3 où différentes occupations du sol et cours d'eaux et retenues sont rencontrés. Afin de définir les sources de COD, les isotopes stables du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) ont été utilisés comme traceur naturel potentiel de la matière organique dissoute (MOD) sur des bassins versants (BV) bien caractérisés du point de vue de l'occupation des sols et des pratiques agricoles et présentant des gradients importants sur des variables clés comme la surface relative en maïs, forêt... La diversité de plantes, de type C_3 (comme le blé, les feuillus...) ou C_4 (comme le maïs) dans le bassin versant, permet d'avoir une variabilité de la signature isotopique de carbone organique. Eventuellement, les sources de carbone organique peuvent être déterminées à partir du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

Des retenues ont également été étudiées de manière à quantifier la contribution autochtone qui peut s'avérer importante dans un contexte agricole intensif où les apports d'azote et de phosphore créent des blooms de phytoplancton. Des analyses isotopiques de carbone ont été réalisées sur la biomasse phytoplanctonique et comparées aux valeurs obtenues sur le COD allochtone en provenance des BV.

Des échantillons provenant de sols sous forêts et sur parcelles agricoles avec différentes déjections animales, de sédiments de rivières, d'eaux de rivières et de retenues, ainsi que de phytoplancton de retenues ont été analysés pour déterminer la variabilité de la signature de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de la MOD extraite et pour déterminer les sources les plus contributrices au COD.

Actuellement, les données montrent :

(1) un écart de 8‰ au maximum entre les différents types de déjections animales déposées sur les parcelles agricoles,

(2) que la présence de maïs sur les parcelles agricoles influence légèrement le COD extrait du sol par hydro-extraction à hauteur de 16%,

(3) les eaux du sol sont en général enrichies en ^{13}C par rapport à la matière organique particulaire (MOP) de 1 à 1.5‰,

(4) les eaux de rivières dans les bassins versants de tête ne comprenant qu'une seule occupation des sols présentent un enrichissement en ^{13}C de 1 à 4‰ par rapport à la MOP de ces bassins versants,

(5) dans une retenue à faible temps de résidence, les profils en profondeur de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ montrent une faible variabilité impliquant une homogénéisation de la signature isotopique de la MOD.

(6) le phytoplancton est généralement appauvri en ^{13}C relativement aux eaux de la retenue de 2 à 8‰.

Etude de l'évolution des stocks de carbone du sol sous plantations d'eucalyptus des Hautes Terres centrales malgaches

**Razakamanarivo Herintsitohaina^{1,2}, Grinand Clovis¹, Razafindrakoto Marie Antoinette²,
Razakavololona Ando¹, Chotte Jean-Luc³, Albrecht Alain¹**

¹ IRD, UR 179 SeqBio, Laboratoire des Radioisotopes (LRI) - Service de la RadioAgronomie, Route d'Andraisoro, BP 3383, 101 Antananarivo, Madagascar.

² Département Eaux et Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo, BP 175, Madagascar

³ IRD, UR 179 SeqBi., 2 Place Viala, SupAgro, Montpellier 34060 cedex 1, France

L'écosystème terrestre, en particulier forestier, tient un grand rôle face au réchauffement climatique grâce aux réservoirs importants de carbone organique (C) de ses compartiments (biomasse et sol). En croissant, un écosystème forestier fixe le gaz carbonique (CO₂) atmosphérique pour constituer sa biomasse ; celle-ci, à son tour, va restituer la matière organique au niveau du sol. Cependant, les mesures des stocks de C organique (C_{sol}) en projets de plantations forestières dans le cadre de l'atténuation des effets néfastes du changement climatique sont souvent trop généralisées. Le but du présent travail est (i) d'évaluer les stocks de C organique (C_{sol}) des sols sous plantations d'eucalyptus sur les Hautes Terres Centrales Malgaches (Sambaina et Sadabe - Manjakandriana) et (ii) d'étudier l'effet de la durée de plantation sur ces stocks de C_{sol}. Ainsi, la méthode de la chronoséquence est utilisée pour analyser l'évolution du C_{sol} avec l'âge de la plantation. La chronoséquence est constituée par 21 parcelles dont les souches d'eucalyptus en place sont âgées de 17 à 111 ans. Des prélèvements de sol jusqu'à 40 cm de profondeur sont effectués au niveau de chaque parcelle en vu des corrections méthodologiques nécessaires (ramener à une masse équivalente de sol) pour calculer les stocks de C_{sol} sur 0-30 cm. Pour calculer le stock de carbone, les densités apparentes des échantillons de sol prélevés ainsi que leurs teneurs en carbone organique sont déterminées en laboratoire: d'abord en utilisant les méthodes conventionnelles de dosage de carbone (étuvage à 105° et dosage par voie sèche) et ensuite, en recourant à la spectrométrie (dans le domaine du moyen infrarouge).

Sur l'horizon 0-30 cm et à une masse de terre fixée (4000 Mg.ha⁻¹), les stocks de C_{sol} mesurés varient de 63±10,3 à 128±9,4 Mg C.ha⁻¹ avec, en tendance générale, des stocks significativement plus faibles (stocks < 70 Mg C.ha⁻¹) pour les parcelles âgées de moins de 70 ans et plus élevés (stocks > 85 Mg C.ha⁻¹) pour celles de 90 ans et plus. En outre, en fonction de la disponibilité des données spatiale (altitude et pente) et granulométrique, seulement 12 des 21 parcelles initialement présentées sont considérées pour analyser leur éventuelle corrélation avec les valeurs de stocks du C_{sol}. L'analyse des corrélations a non seulement confirmé la différence significative du C_{sol} suivant la chronoséquence (augmentation avec l'âge ; r=0,76 ; p=0,008), mais aussi une variabilité spatiale avec l'altitude comme facteur principal (en relation avec la morpho-pédologie de la zone d'étude, r=0,67 ; p=0,017). Par contre, aucune corrélation significative n'a été déterminée entre la teneur en éléments fins des 12 parcelles et leur stocks de C_{sol} ; ceci est probablement en raison de la gamme peu étendue des valeurs de ces teneurs (37,7 à 64,8%) combinée à un effet très important des facteurs morpho-pédologiques.

Mots clés : Madagascar, stock de carbone du sol, réchauffement climatique, chronoséquence d'eucalyptus, taillis.

Amendements calco-magnésiens de bassins versants forestiers acidifiés : effets sur la morphologie des humus

H. Rizvi¹, T. Gauquelin¹, C. Pernin¹, C. Gers², V. Baldy¹

¹Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléocécologie - UMR 6116 CNRS IRD - Aix Marseille Université - Centre de Saint Jérôme - Case 421 - Avenue Escadrille Normandie Niemen - 13397 Marseille Cedex 20 France

²Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle - UMR 5245 CNRS/UPS/INPT - Bât IVR3 Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4 France

Le recours à des épandages calco-magnésiens sur des bassins versants forestiers peut représenter une alternative intéressante pour restaurer les caractéristiques biotiques originelles des écosystèmes acidifiés par des décennies de dépôts atmosphériques acides. Cependant, la validation de cette méthode de gestion nécessite une approche globale dans un cadre temporel, tant les aspects hydrobiogéochimiques que les aspects liés à la dynamique de la biodiversité et à la reprise des processus fonctionnels associés.

Il s'agit notamment d'évaluer l'impact de ces pratiques sur la dynamique de la matière organique du sol. Les formes d'humus peuvent expliquer la plupart des variations dans les écosystèmes forestiers et leur interprétation dépend d'un ensemble complexe de facteurs dans la mesure où les humus intègrent les propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un site. Nous avons déterminé la morphologie des humus en identifiant sur le terrain les différents horizons holorganiques OL, OF, OH. Quatre bassins versants ont été sélectionnés dans le massif vosgien, deux sur granite et deux sur grès. Pour chacun des substrats géologiques, un bassin versant acidifié a été comparé à un bassin versant amendé. Sur 21 points d'échantillonnage par bassin versant et sur une surface de 40 cm², nous avons déterminé l'épaisseur de chaque horizon. La mesure du taux de carbone de chaque fraction nous permettra d'évaluer l'impact de l'amendement sur le stockage du carbone par le sol, en particulier si le sol amendé se comporte comme une source ou un puits de carbone.

Les résultats sur la morphologie des humus montrent notamment une grande hétérogénéité entre les différents points d'échantillonnage, expliquée par la topographie des sites. Deux tendances opposent les deux types de substrats géologiques quant à la réponse à l'amendement : sur grès, les horizons OL et OH sont plus importants sur les bassins versants amendés que sur les bassins versants acidifiés, alors que sur granite l'amendement réduit l'accumulation de litière. Sur grès, on peut supposer que l'activité de la mésofaune est plus importante avec l'amendement, avec une tendance à la baisse de l'horizon OF et une augmentation de l'horizon OH par accumulation de boulettes fécales. Sur les bassins versants granitiques, l'amendement a probablement augmenté la teneur en calcium de la litière, entraînant une augmentation de son taux de décomposition et donc une diminution de l'épaisseur de l'horizon OL. Compte tenu de l'épaisseur des différents horizons holorganiques, l'amendement tend à changer la morphologie des humus. L'amendement conduit au passage d'un humus de type eumoder dominant à dysmoder dominant sur grès et l'inverse sur granite.

Les paramètres biogéochimiques des matières organiques du sol comme indicateurs de changement d'utilisation des terres

Cornelia Rumpel¹, Abad Chabbi^{1,2}

¹ *CNRS, UMR Bioemco, INRA-CNRS-Université Paris 6, Thiverval-Grignon*

² *INRA, UEFE, Lusignan*

La conversion de prairies en culture conduit à des pertes de CO₂ dans l'atmosphère. Le bilan des prairies temporaires en terme de puits de carbone n'est pas clairement établi. Il semble cependant que la séquestration de carbone pendant la phase « prairie » (de 3 à 6 ans) excède assez nettement les pertes par minéralisation pendant la phase de remise en culture (3-4 ans) donnant au système prairie-cultures un rôle de puits de carbone. Par ailleurs, les effets de ce mode de gestion de sol sur la dynamique des matières organiques du sol (MOS) après retournement ne sont pas encore bien connus. L'objectif de cette étude est de suivre les changements des paramètres biogéochimiques induits par le retournement des prairies et évaluer si les MOS ont atteint un nouvel équilibre deux ans après le retournement des prairies.

L'étude a été conduite sur le dispositif expérimentale de l'ORE – ACBB (Observation de Recherches en Environnement – Agro-écosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité) de Lusignan. Les sols sont de type des Cambisols développés sur argile rouge peu rubéfié. Trois situations ont été sélectionnés (1) une prairie de 6 ans (PP), (2) la même prairie vieux de 6 retournée et par la suite cultivée avec de cultures annuelles (maïs, blés orge) (PC), (3) une rotation de cultures annuelles (CC).

Pour apprécier l'effet de retournement de la prairie, nous avons échantillonné les premiers 10 cm des sols 3 mois, 6 mois, 1 année et 2 ans dans chaque situation. Nous avons quantifié et caractérisé les lignines et les polysaccharides par des techniques de dégradation chimique (oxydation cuivrique pour les lignines et hydrolyse au TFA pour les polysaccharides). La composition chimique globale a été étudiée par résonance magnétique nucléaire de ¹³C à l'état solide.

Les résultats montrent un appauvrissement des sols en MO après retournement des prairies. En ce qui concerne la composition chimique globale des MOS, aucune différence n'a été observée dans les traitements PP, CC ou PC. Par contre, la contribution des lignines au carbone des sols sous CC est supérieure comparée à ceux sous PP. Le degré de dégradation des lignines semble augmenter au traitement (PC) et la contribution des polysaccharides est significativement supérieure dans les sols à partir de 6 mois comparée aux PP ou CC (contrôle). L'analyse des composées principales révèle que les sols sous PP et CC se distinguent bien sur le premier et le deuxième axe qui rend compte d'environ 60 % de l'inertie. Le traitement PP montrent une situation intermédiaire comparés avec les deux sols contrôles. Ce sont les polysaccharides qui indiquent le mieux les changements probablement liés à l'activité microbienne après la mise en culture de la prairie (PC).

Nous concluons, que l'analyse fine de la MO (dégradation chimique) est robuste pour détecter les changements biogéochimiques des MOS induites par des différents modes d'utilisation de terres, alors que la RMN n'est pas assez sensible. La nature transitoire de ces changements, observée par pyrolyse (Rumpel et al., 2008), n'a pas pu être confirmée. Nos résultats suggèrent, que les MOS en changeant leurs les caractéristiques biogéochimiques après retournement de la prairie ont tendance à avoir une composition plus proche des sols sous culture (CC).

Référence

Rumpel, C., Chabbi, A., Nunan, N., Dignac, M.-F., 2008. Impact of landuse change on the molecular composition of soil organic matter. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, sous presse.

Erosion hydrique : source ou puits de carbone organique – une étude à différentes échelles dans un bassin versant tropical

Cornelia Rumpel¹, Vincent Chaplot², Christian Valentin²

¹ *CNRS, UMR Bioemco, INRA-CNRS-Université Paris 6, Thiverval-Grignon*

² *IRD, UMR Solution*

Les sols constituent le plus grand réservoir terrestre de carbone (plus de deux fois le réservoir de carbone de l'atmosphère). Or l'érosion hydrique redistribuerait chaque année entre 0.3 à 0.4% de ce stock (4 à 6 Gt) soit l'équivalent de la quantité de carbone émise annuellement par l'utilisation des combustibles fossiles (~4Gt). L'érosion du carbone est particulièrement importante dans des régions tropicales d'Asie de Sud-Ouest, où l'agriculture est pratiquée sur des fortes pentes. En dépit de son importance majeure, les formes du carbone érodé des sols ainsi que leur devenir restent méconnus. Les objectifs de notre étude ont été de quantifier le carbone organique (Co) érodé pendant une saison de pluie au sein d'un bassin versant et d'évaluer le devenir du Co érodé à l'échelle des paysages. L'étude a été réalisée durant la saison des pluies de 2003 au sein du bassin versant de 'Houay Pano' (64 ha) du Nord Laos. Des sédiments ont été récoltés pendant les événements érosifs à 6 différentes échelles (1 m², 2.5m²; 0.6×10⁴, 50×10⁴ m² et 64×10⁴ m²) et analysés pour leur teneur en carbone et azote, leur signature isotopique de ¹³C et ¹⁵N, leur âge ¹⁴C et leur composition chimique par résonance magnétique nucléaire de ¹³C à l'état solide (RMN).

Nos résultats montrent que l'érosion cumulée atteint 583 g de sol m⁻². Ce matériel a été enrichi en carbone par un facteur 1,9 en moyenne. Quatre-vingt-dix pourcent (33 of 37 gm⁻²) du carbone érodé a été redistribué près du site d'érosion (< 2.5 m²). L'analyse de la composition chimique du carbone érodé montre que les processus locaux d'érosion induisent un fractionnement des matières organiques du sol (MOS). Près du point de départ, l'érosion semble affecter en plus grande quantité le carbone aromatique produit par le brûlis, à savoir les charbons. Lors du transport vers l'aval, le rapport du carbone O-alkylique/carbone arylique augmente, ce qui suggère une plus grande dégradabilité des MOS après transport. L'activité ¹⁴C des MOS est décroissante vers l'aval, ce qui indique une plus grande contribution des MOS plus anciennes au carbone exporté du bassin. Les rapports isotopiques du carbone et de l'azote ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) augmentent à travers les échelles d'espace et sont en accord avec les changements de la composition chimique vus par RMN.

Nous concluons que l'érosion préférentielle des charbons, précédemment mise en évidence, pourrait être limitée dans l'espace et dans le temps. Nos résultats suggèrent un fractionnement au cours de l'érosion ainsi que une dégradation microbienne des MOS érodées. Enfin, l'étude à différentes échelles d'espace révèle que la dynamique du Co en relation avec l'érosion hydrique est la plus intense au niveau du versant et du bassin versant de premier ordre.

Evaluation de l'impact des feux de forêt sur les sols par spectroscopie proche infrarouge et chimométrie

Aurore Vergnoux^{1,2*}, Michel Guiliano², Nathalie Dupuy², Mariane Domeizel¹, Frédéric Théraulaz¹ et Pierre Doumenq²

¹*Université de Provence Aix-Marseille 1. LCP. FRE 2704.*

3 pl. Victor Hugo – Case 29, 13331 Marseille Cedex 3 France.

²*Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3. ISM2, UMR 6263, équipe AD²EM, FR ECCOREV.*

Europole de l'Arbois. Bâtiment Villemin BP 80. 13545 Aix-en-Provence Cedex 4 France.

**aurore_vergnoux@hotmail.com*

La spectroscopie proche infrarouge (PIR) est une méthode d'analyse rapide, simple et non destructive, sans utilisation de solvant chimique. Il s'agit d'une méthode analytique alternative pouvant remplacer les analyses physico-chimiques classiques. De plus, la préparation des échantillons est limitée et des technologies "in situ" sont applicables. Les spectres contiennent une grande variété d'informations due à l'adsorption des radiations proche infrarouges par la matière organique. Cependant, il est impossible d'interpréter directement un spectre en corrélant l'intensité ou l'aire des pics à des concentrations. La spectroscopie PIR doit donc être couplée à des méthodes statistiques de traitement des données.

Dans le sud de la France, les feux de forêt sont fréquents, parfois répétés et causent de graves dommages chaque année. Le site d'étude est un écosystème méditerranéen situé dans le massif des Maures, près de Sainte Maxime. Un total de 25 parcelles ont été échantillonnées à 2 horizons (0 -5cm ; -5 -15 cm). Ce site a été choisi parce qu'il présente des zones impactées par des feux plus ou moins fréquents et plus ou moins récents. Le but principal de ce travail est d'évaluer l'intérêt de la spectroscopie proche infrarouge associée au traitement chimométrique pour évaluer les impacts des feux de forêt sur les sols.

Tout d'abord, des propriétés physico-chimiques importantes des sols ont été déterminées: le carbone organique total sur la phase solide, la teneur en azote, les concentrations en carbone organique dans les substances humiques, les acides humiques et les acides fulviques, ainsi que les concentrations en NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et phosphore.

Parallèlement, les spectres proche infrarouge des mêmes sols ont été acquis. Ensuite, un indice de récurrence des feux a été mis au point, validé et calculé pour chacun des sols. Sa mise au point a été faite de façon à prendre en compte le nombre de feux ayant affecté les sols, ainsi que le temps écoulé depuis le dernier feu. Par la suite, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les spectres. Une régression partielle par les moindres carrés (PLS) a permis de corrélérer les spectres proche infrarouge aux résultats physico-chimiques dans le but de prédire les propriétés du sol et l'indice de récurrence grâce aux spectres.

Les résultats montrent que l'estimation de l'impact des feux de forêt peut être appréhendée par l'ACP réalisée sur les spectres. La spectroscopie PIR couplée à la PLS est une technique qui peut être considérée comme un outil pour le monitoring des sols brûlés. En effet, la prédiction quantitative du carbone organique total, de la teneur en azote, du carbone organique des substances humiques, des concentrations en phosphore, Mg^{2+} , Ca^{2+} et NH_4^+ est bonne. Cependant, plus d'investigations sont nécessaires pour prédire la concentration en K^+ et en carbone organique dans les acides humiques et fulviques. Enfin, la spectroscopie PIR, associée à des traitements chimométriques multivariés (PLS) peut également prédire l'indice de récurrence. Cela pourrait avoir pour application de déterminer la variabilité spatiale des forêts incendiées en ayant pour objectif final l'application de techniques de réhabilitation adéquates.

Modélisation intégrée de la dynamique de la matière organique du sol à l'échelle du paysage : quelles approches ?

V. Viaud^{1,2}, C. Walter^{1,2}

¹ *INRA UMR 1069 SAS, F-35000 Rennes, France*

² *Agrocampus Ouest UMR 1069 SAS, F-35000 Rennes, France*

La matière organique (MOS) est considérée comme l'un des facteurs clés de contrôle de la qualité chimique, biologique et physique des sols. Un grand nombre de modèles ont été développés pour simuler la dynamique de la MOS à l'échelle de la parcelle, dans une optique de prédiction de l'impact à long terme de différentes pratiques agricoles (rotation, apport de matière organique exogène, gestion des résidus). Plus récemment, ces mêmes modèles ont été utilisés à des échelles régionales voire nationales, pour réaliser l'inventaire des stocks de MOS et avoir une meilleure estimation du rôle du réservoir sol dans le cycle global du carbone. Dans ce cas, les modèles sont généralement appliqués à des entités spatiales considérées comme homogènes vis-à-vis du milieu physique et de leur usage agricole. Par contre, peu de travaux se placent à l'échelle du paysage, niveau d'organisation intermédiaire qui permet d'aborder la complexité des interactions entre l'organisation spatio-temporelle des activités agricoles, l'hétérogénéité du milieu (climat, sol, matériau parental) et la dynamique et les stocks de MOS, et de fournir ainsi des éléments pour une meilleure gestion des sols par les exploitations agricoles.

Ce poster présente les premières bases d'une approche de modélisation intégrée à l'échelle du paysage, spatialement explicite, couplant la représentation de l'organisation spatio-temporelle des sols, des usages et des pratiques agricoles, à la modélisation de la dynamique des MOS. L'ambition est de développer une modélisation étendue à l'ensemble des horizons de sol contenant de la matière organique et de considérer non seulement les parcelles utilisées pour la production agricoles mais aussi les autres espaces inclus dans les paysages qui peuvent avoir un rôle clé sur le cycle et les flux de MOS (structures boisées, petites zones humides). Nous traitons des choix conceptuels et méthodologiques qu'implique une approche intégrée, où le paysage agricole est vu comme un ensemble d'éléments en interactions, par rapport aux approches classiques, où les systèmes agricoles sont considérés comme une juxtaposition de parcelles indépendantes. Ces choix portent notamment sur la représentation de la variabilité du système sol-paysage dans les trois dimensions de l'espace et sur la prise en compte des flux verticaux et latéraux de MOS. Les questions relatives aux données utilisables pour alimenter ce type de modèle, et de validation sont également discutées.

Interactions travail du sol – apport d’effluents : effets sur la matière organique du sol

V. Viaud^{1,2}, V. Parnaudeau^{1,2}, D. Angers³, T. Morvan^{1,2}, S. Menasseri^{1,2}

¹ *INRA UMR 1069 SAS, F-35000 Rennes, France*

² *Agrocampus Ouest UMR 1069 SAS, F-35000 Rennes, France*

³ *Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAFC), Québec, Québec G1V 2J3*

Alors que les techniques de travail du sol sans labour sont généralement reconnues pour favoriser l’augmentation du stock de matière organique dans le sol (MOS), certains travaux montrent que l’augmentation dans les premiers centimètres du sol en non-labour ne permet pas de compenser la diminution du stock contenu plus profondément, et que la quantité de MOS stockée sur l’ensemble du profil n’est pas plus importante. Cette controverse concerne également la variation de la minéralisation de l’azote en fonction des différentes modalités de travail du sol. Il semble alors nécessaire de mieux comprendre l’impact de ces pratiques en lien avec d’autres composantes des systèmes de cultures qui influencent le statut organique des sols, en particulier dans des systèmes avec des apports importants de matière organique exogène. Dans ce cadre, l’objectif de ce travail était d’évaluer l’effet de techniques sans labour sur le stockage de carbone et d’azote organique, ainsi que les flux afférents à ces compartiments, dans un système avec apport d’effluents d’élevage et restitution annuelle des résidus.

Le travail s’appuie sur un essai agronomique en place depuis 8 ans (Chambre Régionale d’Agriculture de Bretagne, station de Kerguehennec, latitude 47°52’N longitude 2°43’O), et croisant trois modalités de travail du sol (labour L, travail superficiel TS, et semis direct SD) et deux modalités de fertilisation azotée (minérale M, fumier de volailles FV) dans un dispositif en split-plot. Les stocks de carbone et d’azote organiques ont été mesurés à différentes profondeurs jusqu’à 60cm, pour évaluer le stock total et la distribution de la MOS dans le profil. Un fractionnement granulométrique a également été réalisé sur les échantillons de sol. La minéralisation du C et N du sol a été étudiée par des incubations en conditions contrôlées à 15°C, sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs (0-5/5-25cm en SD, 0-15/15-25cm en TS et 0-25cm en L).

La fertilisation a un effet significatif sur le stock de MOS sur l’ensemble du profil, avec un stock moyen de carbone de 122,3 tC/ha ($\pm 7,8$) pour les modalités fertilisation minérale et 129,1 tC/ha ($\pm 6,3$) pour la fertilisation organique. L’impact du travail du sol sur les stocks n’est significatif que sur l’horizon 0-5cm, avec un stock moyen de 11,1 tC/ha ($\pm 2,2$) en labour, 13,0 tC/ha ($\pm 2,18$) en travail superficiel et 14,7 tC/ha ($\pm 1,73$) en semis direct : l’effet du non-labour se traduit essentiellement par une concentration de la matière organique dans l’horizon superficiel, le travail du sol n’a pas d’effet significatif sur le stockage de MOS sur l’ensemble du profil. De même, aucun effet de l’interaction entre le travail du sol et la fertilisation n’est observé. L’analyse des fractions granulométriques révèle un léger enrichissement en matière organique particulaire ($> 50\mu\text{m}$) dans l’horizon à la base de la couche labourée. Les résultats d’incubation montrent que la fertilisation organique induit une minéralisation de C et N significativement supérieure à la fertilisation minérale. Si l’on considère les résultats de minéralisation selon la profondeur de prélèvement, on observe que la minéralisation est d’autant plus importante que la profondeur de travail du sol est faible : 35,6 ($\pm 6,5$), 28,4 ($\pm 4,9$) et 21,4 ($\pm 2,8$) mgN/kg de sol minéralisé sur 0-5cm (semis direct), 0-15cm (travail superficiel) et 0-25cm (labour) respectivement. Ce résultat reflète la concentration des résidus dans les horizons travaillés. En revanche, si l’on rapporte les résultats de minéralisation à la profondeur équivalente au labour (25cm), il n’y a pas d’effet significatif des modalités de travail du sol sur la minéralisation de C et N.

En conclusion, les résultats de ce travail montrent qu’après huit ans, l’application d’effluents d’élevage a eu un effet significatif sur la teneur MOS mais que cet effet ne varie pas selon la modalité de travail du sol. Les modalités de travail du sol n’ont eu que peu d’effet sur les stocks totaux et la minéralisation de la MOS, sauf dans la couche superficielle de sol où s’accumulent les résidus organiques en situation de non labour.

Mise en évidence de changements récents de l'environnement grâce à l'étude organosédimentaire du Lac Boqueirão (Nord Est Brésil)

¹Renata Zocatelli, ²Bruno Turcq, ³Jérémy Jacob, ³Mohammed Boussafir, ³Jean-Robert Disnar, ²Abdelfettah Sifeddine

(1) Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Morro do Valonguinho s/n°, 24020-007 Niterói, RJ, Brazil, zocatelli@gmail.com

(2) IRD - Institut de Recherche pour le Développement – Centre IRD d'Île de France, 32, Avenue Henry Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France,

(3) Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 6113 CNRS/INSU - Université d'Orléans/Université François Rabelais de Tours, 1 rue de la Férollerie 45071 Orléans Cedex 2, France

L'objectif de ce travail est de retracer les changements environnementaux naturels et anthropiques survenus autour du Lac Boqueirão (Nord-Est du Brésil) à partir de la caractérisation globale et moléculaire de la MO sédimentaire. L'ensemble de ces recherches s'inscrit dans le cadre du projet « CLIMPAST » entre le CNPq et l'IRD en collaboration avec l'ISTO. L'objectif principal est l'étude de la variabilité climatique enregistrée au cours des deux derniers millénaires et plus particulièrement du dernier siècle ainsi que l'impact de ces fluctuations sur les écosystèmes lacustres.

La matière organique (MO) lacustre dérive de différentes sources : organismes aquatiques, matériel terrestre provenant du bassin versant et production bactérienne. L'importance relative de ces sources est déterminée non seulement par des facteurs environnementaux (climat, évolution des écosystèmes) mais aussi par l'activité anthropique (urbanisation, agriculture).

Les premiers résultats ont été obtenus à partir des analyses de pyrolyse Rock Eval et des analyses pétrographiques sur un mètre de carotte prélevée au centre du lac. Les valeurs élevées du Carbone Organique Total (entre 12 et 18 %) associées à des valeurs d'Indice d'Oxygène (IO) comprises entre 110 et 170 mg CO₂/g COT et des valeurs d'Indice d'Hydrogène (IH) évoluant entre 180 et 350 mg HC/g de COT témoignent d'un sédiment riche en matière organique provenant essentiellement de végétaux supérieurs. L'évolution des différents indices nous permet de distinguer cinq phases majeures dans l'enregistrement organo-sédimentaire (Phase I : 100-80 cm, Phase II : 79-50 cm, Phase III : 49-30 cm, Phase IV : 29-13 cm, Phase V : 13-0 cm).

Ces cinq phases révélées par géochimie globale s'expriment également dans les cortèges moléculaires obtenus sur la fraction lipidique extractible qui permettent de préciser les sources organiques. Outre les composés hydrocarbonnés classiques (ex. n-alkanes), nous avons détecté des composés hopanoïques ainsi que d'autres triterpènes pentacycliques produits par les végétaux supérieurs terrestres et leurs dérivés (des-A-triterpènes et triterpènes aromatiques). La phase III est marquée par la présence de des-A-lupane, molécule utilisée précédemment comme témoin de la présence de *Eleocharis* sp. autour du Lac Caço, situé à 800 km de notre site d'étude (Jacob et al., 2007). De la même manière, la présence d'éthers méthyliques de triterpènes pentacycliques (PTME) témoigne du développement de graminées dans le bassin versant du lac. Parmi les PTME, nous avons identifié la crusgalline, la miliacine, l'éther méthylique de la β-amyrine ainsi que la cylindrine et l'arundoïne. Bien que tous ces composés soient présents dans l'ensemble de la carotte, les concentrations en arundoïne et en cylindrine sont plus élevées dans les échantillons de la phase IV, correspondant aux dix dernières années d'après nos premières datations au plomb. La culture intensive de *Zoysia japonica*, une plante cultivée par une entreprise de fabrication de gazon, depuis quelques années autour du lac pourrait être à l'origine de ces fortes concentrations en arundoïne et cylindrine.

Session 2

Oral

Diversité microbienne et matières organiques des sols: vers une meilleure compréhension des interactions

Pierre-Alain Maron

UMR Microbiologie et Géochimie des Sols, INRA/Université de Bourgogne, BP 86510 17 rue de Sully 21065 Dijon Cedex France

De tous les éléments chimiques, le carbone (C) constitue l'élément clé pour toutes les formes de vie sur Terre. Le cycle biogéochimique associé est très complexe et comporte des implications majeures pour la fertilité et la structure des sols, la qualité de l'environnement et les changements globaux. Au sein de la biosphère, la principale réserve de C est constituée par les Matières Organiques du Sol (MOS) dont la régulation (stockage *vs.* déstockage) par l'activité des microorganismes telluriques détermine la balance carbonée des écosystèmes.

De nombreux modèles sont disponibles à ce jour pour évaluer la dynamique des MOS et prédire son évolution selon les pratiques agricoles (travail du sol, amendement, fertilisation N...). Toutefois, malgré son rôle central, la composante microbienne n'est actuellement que très insuffisamment prise en compte dans ces modèles. En effet, les microorganismes sont souvent considérés sur la base d'un postulat proposé par Beijerinck (1913) : "tout est partout" ("everything is everywhere"), comme des organismes ubiquistes présentant une forte redondance fonctionnelle. A ce titre, les communautés microbiennes apparaissent encore de façon récurrente comme une "boîte noire" fonctionnelle génératrice de flux dont l'intensité ne dépend que de facteurs abiotiques comme la température, l'humidité, le pH..., excluant l'hypothèse que la diversité et la composition des communautés microbiennes ainsi que les interactions trophiques entre les populations puissent jouer un rôle fonctionnel. Ceci s'explique principalement par un manque de connaissances (principalement en raison de verrous méthodologiques) des populations microbiennes impliquées dans les transformations des MOS, mais aussi à un manque de généralité des travaux fondamentaux qui restent encore difficilement transposables à une large gamme d'agro-écosystèmes.

Grâce aux efforts réalisés ces 20 dernières années de nombreux outils moléculaires ont été développés pour caractériser *in situ* et sans *a priori* la diversité des communautés microbiennes du sol. Ceci offre aujourd'hui de nombreuses opportunités pour aborder le déterminisme de la régulation de la diversité microbienne dans le sol et pour évaluer l'implication de cette diversité dans le fonctionnement du sol, et notamment dans l'évolution des MOS. Les exposés proposés dans cette session sont une illustration des travaux actuellement menés dans ce domaine.

La matière organique enregistre-t-elle les changements récents de végétation ? Le cas d'une tourbière envahie par le bouleau et la molinie.

Sébastien Gogo¹, Fatima Laggoun-Défarge¹ et Emilie Rivoire²

¹Institut des Sciences de la Terre d'Orléans, Campus Géosciences, Université d'Orléans/CNRS/Université François Rabelais - Tours (UMR 6113), 1A Rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2, France, sebastien.gogo@univ-orleans.fr, fatima.laggoun-defarge@univ-orleans.fr

²GEO-HYD, Parc technologique du Clos du Moulin, 101, rue Jacques Charles, 45160 Olivet

A l'échelle globale, les tourbières, malgré leur relative faible superficie, sont des réservoirs importants de carbone (C). En effet, à elles seules, les tourbières boréales renferment près d'un tiers du stock de C contenu dans l'ensemble des sols mondiaux (Gorham, 1991¹), participant ainsi à la régulation du cycle global des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄) et, plus généralement, du climat de la planète. Cependant, il est à craindre que les activités anthropiques ne changent ces systèmes puits en systèmes sources de C. L'invasion des tourbières par des végétaux vasculaires, notamment par des ligneux, est un processus naturel qui peut cependant être fortement accéléré par les activités humaines (i.e. drainage, apports de nutriments). Les nouvelles espèces invasives, par l'effet de leurs racines et de leurs litières, peuvent significativement affecter la capacité du système à accumuler de la MO et remettre ainsi en cause sa fonction de puits de C. L'objectif de cette étude est d'estimer l'effet de l'invasion récente (depuis une trentaine d'années) par *Betula sp* et *Molinia caerulea* d'une tourbière Solognote, la Guette (Cher), sur la dynamique de la MO. Les résultats présentés ici portent sur les caractéristiques biogéochimiques des MO de la tourbe et des eaux associées dans les zones boisées et non boisées de la tourbière.

En fonction du niveau de la nappe d'eau et de la composition floristique, 4 stations expérimentales de 4m² chacune ont été choisies : 2 stations dites « ouvertes » avec une biodiversité caractéristique des tourbières (sphaignes, linaigrette, bruyère et callune), et 2 stations dites « fermées » avec une végétation invasive (jeunes bouleaux et molinie). 2 de ces stations (ouverte et fermée) sont situées dans la zone sud de la tourbière où le niveau moyen de la nappe d'eau est élevé et les 2 autres, dans la zone nord plus drainée. Les deux dernières stations se trouvent dans une partie alimentée par intermittence par un drain collectant des eaux provenant de parcelles forestières avec une végétation de lande sèche en sous bois. Au printemps 2008, 4 carottes de 50 cm de long ont été extraites dans chaque station. Chaque 5cm, la densité apparente, la perte au feu, l'indice pyrophosphate, les teneurs en C, N, S et les paramètres de la pyrolyse Rock Eval (IH, IO, COT) ont été mesurés. A chaque profondeur, une MANOVA a été réalisée. Un suivi saisonnier piézométrique et de la qualité des eaux de surface de la tourbière et des cours d'eaux adjacents est également effectué.

Les résultats des MANOVAs montrent qu'en profondeur, la tourbe de la Guette présente une grande variabilité dans sa composition chimique liée probablement à la variabilité des précurseurs botaniques. Les différences entre les stations tendent à diminuer jusqu'à ne plus être significatives à la profondeur 7,5 cm. A la surface (2,5 cm de profondeur), on retrouve de nouveau des différences significatives entre les stations étudiées. En effet, la MO y est plus décomposée et les teneurs sont moindres dans les stations envahies par *Betula sp* et *Molinia caerulea* par rapport aux stations « ouvertes ». L'impact des espèces invasives sur la dynamique du carbone serait donc d'ores et déjà enregistré dans la tourbe superficielle. Les résultats de la chimie de l'eau montrent que le drain entrant apporte des eaux chargées en K, Al, Fe et Si. Ces entrées affectent la chimie des eaux de la tourbière avec des concentrations en K, Al et Si qui diminuent avec la distance par rapport au drain. Par contre, les concentrations en Fe ne semblent pas être liées à la présence du drain puisque de plus fortes concentrations ont été mesurées dans les stations fermées de la zone nord, mais aussi de la zone sud. Le Fe peut alors être concentré dans les litières des végétaux invasifs (bouleau et molinie) et être libéré dans le milieu. Ce nutriment peut ensuite stimuler l'activité des microorganismes participant ainsi à une décomposition accrue de la MO. Des expériences de *litter bags* sont mises en place *in situ* afin d'estimer la cinétique de décomposition de la MO en fonction de la composition végétale et des conditions hydrologique et chimique de la nappe d'eau.

¹ Gorham E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1(2): 182-195.

Effets de la récurrence des incendies et des sècheresses en région méditerranéenne sur la matière organique et la diversité microbienne des sols

GUÉNON R.*, DUPUY N., VENNETIER M, ZIARELLI F, GROS R.*

Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie (IMEP), UMR CNRS 6116 - IRD 193, Equipe Ecologie Microbienne et Biotechnologies, Service 452, Université Paul Cézanne, Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme, 13397 Marseille Cedex 20, France.

*Auteurs correspondants : rene.guenon@etu.univ-cezanne.fr, raphael.gros@univ-cezanne.fr, tel : 04.91.28.87.68.

Les changements climatiques marqués par une augmentation de la fréquence et de la durée des grandes sècheresses favorisent la récurrence des incendies. Ces perturbations répétitives, pourtant considérées comme décisives dans les processus de dégradation des écosystèmes, ont été très peu étudiées. Notre hypothèse générale est que les écosystèmes méditerranéens sont en équilibre avec le feu dans une limite qui dépend de la fréquence des incendies. Une trop grande fréquence conduirait à un appauvrissement du milieu, une érosion de la biodiversité et une diminution de leur résistance aux sècheresses. Pour tester cette hypothèse, nous avons sélectionné dans le massif des Maures (Var) 17 parcelles caractérisées par une histoire d'incendies différente (variable en nombre de feux, en temps depuis le dernier feu et en intervalle de temps entre les feux). Au laboratoire, ces sols ont été soumis soit à un seul, soit à plusieurs stress hydriques successifs afin d'évaluer la résistance de la diversité microbienne étudiée par la technique des microplaques Biolog®. La qualité de la matière organique des 17 échantillons de sols a été étudiée par RMN du solide du ¹³C. Nos résultats montrent que 4 incendies en 40 ans, comparativement aux sols non incendiés, diminuent la quantité de matière organique des sols de 42%, tout en augmentant son degré d'aromaticité de 70%. Les modifications de la qualité de la matière organique sont corrélées avec une diminution de la diversité microbienne ($r=-0,86$, $p<0,001$). Les sols dont la qualité de la matière organique est la plus riche en fonctions O-alkyl et di-O-alkyl possèdent également la plus forte stabilité de la diversité microbienne à de nombreux stress hydriques. La Spectroscopie du Proche-Infrarouge (SPIR) a été utilisée pour construire des modèles PLS prédictifs de la résistance de la diversité microbienne. Ce travail suggère que la diversité microbienne et sa stabilité sont fortement contraintes par la qualité de la matière organique, elle-même fortement modifiée au-delà de 3 feux successifs.

DIFFERENCIATION DE LA FLORE FONGIQUE AU COURS DE LA STABILISATION DE LA STRUCTURE D'UN SOL PAR APPORTS ORGANIQUES

Cédric Le Guillou¹, Safya Menasseri¹, Gaëtan Le Floch²,
Georges Barbier², Denis Angers³

¹ INRA/Agrocampus Ouest, UMR Sol AgroHydroSystème Spatialisation, Rennes

² Université Bretagne Occidentale, ESMISAB, Laboratoire Universitaire de Biodiversité & Ecologie Microbienne, Plouzané

³ Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec

La stabilité structurale est une propriété physique du sol au cœur d'enjeux à la fois agronomiques (levée des plantes) et environnementaux (érosion). L'apport de matière organique stimule, au cours de sa dégradation, les communautés microbiennes qui permettent l'expression de molécules agrégeantes augmentant la stabilité structurale du sol. La flore fongique a un rôle prépondérant dans le processus de stabilisation des agrégats du sol. L'objectif de notre travail est donc d'étudier l'évolution de la stabilité structurale d'un sol soumis à des apports organiques de différentes natures biochimiques en parallèle d'un suivi de la diversité fongique du sol.

Nous avons étudié quatre modalités d'apport sur un sol limono-sableux relativement riche en matière organique (4,2 %) : paille, lisier de porc, fumier de bovin (apportés en quantité équivalente de carbone et caractérisés par la méthode Van Soest) et minéral (témoin). Les échantillons ont été incubés pendant 2 mois à 25°C et à une humidité équivalente à la capacité au champ. Un suivi de la minéralisation (C, N) et des paramètres suivants a été réalisé : la stabilité structurale, la diversité de la flore fongique par analyse moléculaire en CE-SSCP, la biomasse microbienne, l'ergostérol, les polysaccharides et l'hydrophobicité mesurée par le temps de pénétration d'une goutte d'eau.

Malgré le niveau de matière organique du sol initial plus élevé, nous retrouvons la même dynamique de stabilité structurale que celles mises en évidence par Abiven *et al.* (2007), Annabi *et al.* (2007), Cosentino *et al.* (2006). Entre 0 et 7 jours, la stabilité structurale augmente par la stimulation de l'activité microbienne et particulièrement fongique. La flore fongique stimulée est sensiblement la même dans les sols avec apports organiques ou minéral. Entre 21 et 56 jours, l'augmentation de la stabilité structurale est associée à l'augmentation de l'hydrophobicité. Dans le cas du lisier de porc, compte tenu du faible effet de cette modalité sur la flore fongique du sol, l'augmentation de la stabilité structurale serait due principalement au caractère hydrophobe du produit. D'autre part, deux pôles fongiques se différencient, l'un associé aux modalités fumier de bovin et paille et l'autre aux modalités lisier de porc et témoin minéral.

Il est donc apparu que l'augmentation de la stabilité structurale d'un sol par des apports organiques n'est pas uniquement liée à l'activité biologique globale. La nature des molécules (facilement dégradables, récalcitrantes) au cours de la dégradation de produits organiques pourrait jouer un rôle dans la stabilisation de la structure du sol ; (1) de manière directe, par son caractère hydrophobe ou (2) en privilégiant le développement d'une flore fongique particulière (espèce de champignon hydrophobe).

Abiven, S., S. Menasseri, D.A. Angers, and P. Leterme. 2007. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. *European Journal of Soil Science* 58:239-247.

Annabi, M., S. Houot, C. Francou, M. Poitrenaud, and Y.I. Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal* 71:413-423.

Cosentino, D., C. Chenu, and Y.I. Bissonnais. 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2053-2062.

Devenir de résidus de culture de différentes qualités biochimiques après incorporation dans le sol : lien entre la diversité microbienne et l'évolution des résidus

Noémie Pascault¹, Lauric Cecillon², Jean Lévêque³, Lionel Ranjard¹, Pierre-Alain Maron¹.

1 : UMR Microbiologie du Sol et de l'Environnement, INRA Dijon

2 : UR Ecosystèmes montagnards, CEMAGREF Grenoble

3 : UMR Biogéosciences, Université de Bourgogne

Au niveau des agrosystèmes, l'apport de résidus de culture est une pratique courante pour augmenter le stock de carbone et améliorer la fertilité et la structure des sols. Les études réalisées jusqu'à présent pour évaluer l'impact de ces apports sur la communauté microbienne du sol sont essentiellement fondées sur des mesures de paramètres quantitatifs globaux comme la biomasse microbienne, le taux de respiration, sur des mesures d'activités enzymatiques ou de turn-over de carbone et d'azote. Il en résulte une méconnaissance des acteurs microbiens en termes de populations et de fonctions impliquées dans la dégradation de la matière organique dans le sol. Ceci se traduit par une sous-représentation de la composante microbienne, considérée seulement comme une boîte noire fonctionnelle, dans les modèles prédictifs de l'évolution de la matière organique dans les sols.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de progresser dans la connaissance des acteurs microbiens responsables de la dégradation des résidus de culture dans le sol. Plus précisément, ce travail a consisté à évaluer l'influence de la qualité biochimique des résidus de culture (modulée par l'utilisation de différentes espèces végétales) sur (i) la dynamique de la diversité communautés microbiennes du sol, et (ii) l'évolution qualitative de chaque type de résidu dans le sol.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur un site expérimental mis en place sur le domaine expérimentale de l'INRA d'Epoisses. Ce site a consisté à incorporer indépendamment dans différentes parcelles expérimentales des résidus provenant de différentes espèces végétales : blé, colza et luzerne, respectivement. Un échantillonnage régulier consistant à prélever le sol d'une part et les résidus non dégradés d'autre part a alors été réalisé chaque mois pendant 1 an pour suivre l'évolution des résidus et des communautés microbiennes. Ainsi, la structure génétique et la composition taxonomique des communautés microbiennes ont été caractérisées par l'utilisation de méthodes moléculaires, directement à partir de l'ADN extrait du sol et des résidus (empreintes moléculaires ARISA, PCR/clonage/séquençage). En parallèle, les dynamiques de la qualité biochimique des résidus ont été étudiées par spectroscopie proche infra-rouge (NIRS).

Nos résultats mettent en évidence des modifications de la structure génétique des communautés bactériennes principalement au niveau de la détritosphère (zone du sol sous l'influence des résidus de culture) par rapport au sol nu. Ces résultats montrent que la détritosphère est une zone de haute réactivité biologique en termes de structure et de diversité microbienne. Quel que soit le résidu considéré : blé, colza ou luzerne, nous avons observé des successions de populations bactériennes au cours de la dégradation. Cependant cette dynamique est spécifique de chaque résidu mettant en évidence la stimulation de populations particulières en fonction de la qualité biochimique des résidus. Ces résultats ont été confirmés par la caractérisation de la composition taxonomique des bactéries présentes à différents stades de la dégradation (précoce et tardif). Différents groupes phylogénétiques ont en effet été identifiés pour les résidus de blé, de colza et de luzerne. A l'aide de la NIRS, nous avons pu observer l'évolution particulière de la composition biochimique de chaque résidu. Une analyse de co-inertie a permis de montrer, pour chaque résidu, que la dynamique de la structure génétique des communautés microbiennes est statistiquement liée à celle de la qualité biochimique des résidus. Ces résultats suggèrent donc un lien entre la diversité microbienne et la dégradation des résidus de culture dans le sol.

Utilisation des acides gras phospholipidiques (PLFA) pour l'étude des sites de décomposition de la matière organique dans le système poral du sol.

Léo Ruamps, Naoise Nunan, Claire Chenu

*BIOEMCO UMR 7618 Equipe Matières Organiques des Sols, UPMC/CNRS/INRA
/AgroParisTech/ENS site de Grignon 78850 Thiverval Grignon France
leo.ruamps@grignon.inra.fr*

Introduction

La compréhension du rôle du carbone du sol dans la régulation de la concentration du CO₂ atmosphérique semble de plus en plus indispensable. Ces mécanismes sont à ce jour encore mal compris, notamment le lien entre structure des sols et dynamique du carbone. Plusieurs études suggèrent que les sites de décomposition de la matière organique du sol (MOS) sont localisés dans des régions spécifiques du sol, dans certaines classes de pore par exemple (Strong et al. 2004). La taille de la biomasse microbienne et la structure des communautés peuvent varier suivant les différents micro-habitats des sols (Nunan et al. 2003; Mummey and Stahl 2004). De plus, selon Frostegrad et al. (1991), la teneur en acide gras est fortement reliée à la biomasse microbienne. Notre étude s'intéresse à localisation de la décomposition de la matière organique dans différentes classes de pores., Nous avons incubé des échantillons de sols non perturbés à différents potentiels matriciels après apport d'un substrat carboné, puis nous avons dosé les acides gras phospholipidiques (PLFA) afin (i) de déterminer l'existence ou non d'une variabilité des communautés microbiennes et de leur structure et (ii) évaluer les apports de la technique de dosage des PLFA dans l'étude du comportement biologique de sols en réponse à un changement environnemental.

Matériels et méthodes

Trente cylindres de sol non perturbé d'une centaine de gramme sont prélevés et équilibrés à 3 potentiels matriciels différents : pF 1.5 ; 2.5 & 3.5 (10 cylindres par modalité). En équilibrant à ces pF nous avons ciblé les classe de pores inondés suivantes : 97 µm (pF 1.5) ; 9.6 µm (pF 2.5) et 0.96 µm (pF 3.5). Pour chaque pF, 5 cylindres de sol sont des témoins et dans 5 nous avons ajouté une solution de fructose marqué au ¹³C à 5% (δ ¹³C = 3449.50). Les échantillons sont incubés à 20°C durant 13 jours. Nous avons périodiquement mesuré production de CO₂ avec un Micro-GC ainsi que la signature isotopique du CO₂ au moyen d'un GC-IRMS. A la fin de l'incubation, les échantillons sont déstructurés et lyophilisés. La biomasse est évaluée par extraction/fumigation au chloroforme et analyse élémentaire CHN (phase solide) ainsi que par mesure de DOC (phase liquide). Les PLFA sont extraits et dosés au moyen d'un GC-FID et leur marquage isotopique mesuré en phase liquide sur l'IRMS.

Résultats:

En apportant un substrat marqué au ¹³C à des échantillons non perturbés de sol à différentes teneurs en eau nous espérons marquer les populations microbiennes actives dans différentes classes de pores après une courte incubation. Ce travail est encore en cours de réalisation, mais des résultats préliminaires non attendus sont très intéressants : l'apport de substrat semble être à l'origine d'un « priming effect » variable selon le potentiel de l'eau. C'est la première mise en évidence d'un effet de la teneur en eau sur le « priming effect » qui reste à confirmer mais qui pourrait remettre en cause la notre compréhension de ce processus.

Strong et al. 2004. European Journal of Soil Science. 55, 739-750

Frostegrad et al. 1991. Journal of microbiological methods. Vol: 14 Issue: 3. Pages: 151-163

Nunan, N., K.J. Wu, I.M. Young, J.W. Crawford and K. Ritz. 2003. FEMS Microbiol. Ecol. 44/203-215

Mummey, D.L. and P.D. Stahl. 2004. Microb. Ecol. 48/41-50.

Effet de l'incorporation de résidus de blé, dans des conditions limitantes en soufre, sur la taille et l'activité des communautés microbiennes du sol impliquées dans la minéralisation du soufre organique

Muhammad Usman^(a), Séverine Piutti^(a), Hamid Niknahad^(b), Phuy-Chhoy Vong^(a), Sophie Slezack-Deschaumes^(a), Sylvie Recous^(b), Emile Benizri^(a)

^(a) UMR 1121 Nancy-Université - INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP. 172, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex France

^(b) INRA UMR 614 INRA-Univ Reims "Fractionnement des Agro Ressources et Environnement" (FARE) CREA, 2 Esplanade Roland Garros F-51686 Reims France

Le soufre (S) est le 4^{ème} élément majeur pour la croissance des plantes après l'azote, le phosphore et le potassium. Cet élément joue notamment un rôle essentiel dans la biosynthèse protéique en tant que constituant d'acides aminés (cystéine et méthionine). Cet élément contribue ainsi significativement à l'élaboration des rendements et à la qualité technologique des récoltes, notamment chez les céréales et les crucifères. Dans les sols, le soufre dont les teneurs varient entre 200 et 1200 kg ha⁻¹, est présent très majoritairement sous des formes organiques non directement utilisables par les plantes. Ce pool constitue une source de S potentiellement disponible mais son utilisation requiert la synthèse d'enzymes notamment de la famille des sulfatases à laquelle appartiennent les arylsulfatases. L'intervention d'une microflore, hétérotrophe pour le C, est donc essentielle pour assurer la minéralisation de ces fractions organiques en sulfates, et dans ce cadre, le C peut donc être considéré comme l'un des effecteurs majeurs des processus de transformation de S organique. Ainsi, des apports de C *via* l'incorporation de résidus de culture, en créant des conditions favorables à l'augmentation de la biomasse, pourraient induire une limitation en S pour la microflore (d'autant plus importante que le C/S des résidus est important) et pourrait donc à court terme stimuler la minéralisation de S, *via* l'activité arylsulfatase afin de répondre aux besoins en S de la biomasse microbienne.

Notre objectif a été de vérifier cette hypothèse en conditions contrôlées, en quantifiant sur 56 jours de cinétique, en situation non limitante en azote, les effets de l'incorporation de résidus de blé sur la taille et l'activité de la communauté bactérienne fonctionnelle (possédant l'activité arylsulfatase), et la résultante sur les flux de S (minéralisation/immobilisation). Différentes quantités de résidus ont été incorporées (0, 2, 3 et 4 g équivalent C kg⁻¹ de sol) afin de se placer dans des conditions plus ou moins limitantes en S. Un traitement glucose (4 g C kg⁻¹ de sol) a été intégré pour appréhender l'effet de la nature du C par comparaison avec le traitement blé correspondant.

Les résultats montrent que dans le cas du glucose la minéralisation rapide de cette source de C est à l'origine d'une forte augmentation de la densité des bactéries fonctionnelles, de l'activité potentielle arylsulfatase, se traduisant par une rapide (maximale à 3 jours) mais transitoire immobilisation de S. Dans le cas du blé, la valeur maximale d'immobilisation est atteinte après 7 jours (avec des valeurs d'autant plus grandes que le C/S augmente) et reste constante jusqu'à 56 jours du fait d'une minéralisation lente du résidu en comparaison avec le traitement glucose.

En conclusion, ce travail montre qu'en réponse à un apport de C, l'activité arylsulfatase et la densité de la communauté bactérienne fonctionnelle sont augmentées ce qui, en conséquence, modifie les flux de minéralisation/immobilisation de S. Néanmoins cet effet est fortement dépendant du C/S et de la nature de la source de C.

Mots-clés : Dynamique du soufre, arylsulfatase, résidus de blé, C/S, communautés microbiennes fonctionnelles.

Session 2

Posters

Dynamique et identification par DNA-/RNA-SIP des populations microbiennes telluriques impliquées dans la dégradation des résidus végétaux et la minéralisation de la matière organique du sol : effet d'un stress métallique.

Laetitia Bernard¹, Christophe Mougel², Pierre-Alain Maron², Virginie Nowak², Jean Lévêque², Catherine Henault², Feth-el-Zahar Haichar³, Odile Berge³, Christine Marol³, Jérôme Balesdent⁴, Frédéric Gibiat⁵, Philippe Lemanceau², Lionel Ranjard²

¹*IRD U.R. SeqBio-IRD Sup-Agro Montpellier, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 1,*

²*INRA-Université de Bourgogne, UMR Microbiologie et Géochimie des Sols, CMSE, 17, rue Sully, B.V. 86510, 21065 Dijon Cedex France*

³*Laboratoire d'Ecologie Microbienne de la Rhizosphère et des Environnements Extrêmes UMR 6191 CNRS-CEA-Univ.de la Méditerranée CEA DEVM Centre de Cadarache 13108 Saint-Paul lez Durance Cedex France*

⁴*INRA UR1119 Géochimie des Sols et des Eaux, Europole méditerranéen de l'Arbois BP 80, 13545 Aix en Provence CEDEX 04*

⁵*Groupe de Recherches Appliquées en Phytotechnologie, CEA, Cadarache, F-13108 St Paul cedex, France*

Ces dernières années, relier l'identité à l'activité ou la fonction au niveau populationnel a été l'un des principaux objectifs poursuivis en écologie microbienne. Cet objectif a été atteint grâce au couplage de méthodes pluridisciplinaires. L'une des approches les plus prometteuses semble être la DNA- ou la RNA-SIP (Stable Isotope Probing), qui consiste en la séparation densitométrique des acides nucléiques "lourds" car provenant des organismes responsables de la dégradation d'un substrat enrichi en ¹³C. Nous avons appliqué pour la première fois cette approche à l'étude de la dynamique et de la diversité des populations bactériennes ayant assimilé le carbone dérivé de résidus de blé, enrichis à plus de 90% en isotope, sur une cinétique de 28 jours. Sur un plan fonctionnel, nous avons pu observer que l'apport de résidus végétaux frais avait conduit à stimuler de façon notable la minéralisation de la matière organique du sol, processus que l'on appelle « Priming effect ». La DNA-SIP couplée à la technique d'empreinte génétique A-RISA nous a permis de suivre la dynamique des populations issues respectivement des fractions lourdes et légères des ADN extraits aux différents temps de l'expérience. La RNA-SIP couplée à des techniques de clonage-séquençage, nous a permis d'accéder à l'identité des populations actives impliquées dans la minéralisation de la matière organique fraîche (MOF) comme de la matière organique du sol (MOS). Les nombreux résultats que nous avons obtenus grâce au couplage des techniques isotopiques et des méthodes moléculaires nous ont amenés à discuter différentes hypothèses sur les stratégies de colonisation des bactéries dégradant les résidus et leur implication dans les mécanismes générateurs du "Priming effect".

Is soil fauna (earthworms) an important driver of key soil function ? The case of denitrifier community in a tropical soil

A. Brauman¹, M.J. Mano¹, L. Weber², L. Chapuis-Lardy², L. Bernard¹, A.L. Pablo¹, L. Philippot³, B. Rabary⁴, J.L. Chotte¹, E. Blanchart¹

¹ IRD, UR179 SeqBio, SupAgro 2 place Viala, bâtiment 12, 34060 Montpellier cedex1, France

² LRI/IRD-UR179 SeqBio, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

³ INRA-CMSE, University of Burgundy, UMR 1229 Soil and Environmental Microbiology, 21065 Dijon, France

⁴ Centre FOFIFA, URP Système de Culture et Riziculture Durable, BP 230, 110 Antsirabe, Madagascar

Les vers de terre sont considérés comme des ingénieurs du sol capables, via leurs activités de construction et de déplacement, d'élaborer des structures dans le sol ayant des propriétés physico-chimiques et microbiologiques spécifiques. Leurs principales structures, les turricules affectent le fonctionnement du sol via la modification de la dynamique de la matière organique et des propriétés structurales du sol. Cependant l'impact de ces turricules sur le compartiment microbien du sol reste à établir et constitue l'objectif principal de ce travail.

A Madagascar, une expérience a été effectuée en mésocosme dans le but d'analyser l'influence des vers de terre sur l'émission de deux gaz à effet de serre : le CO₂ et le N₂O. Cette expérience a mis en évidence une plus forte activité respiratoire des microorganismes du sol au niveau des turricules. L'objectif spécifique de ce travail a été de déterminer si cette stimulation provenait d'une augmentation de la biomasse bactérienne et/ou d'un changement de structure du compartiment microbien.

Pour répondre à cette question, nous avons étudié la structure des communautés microbiennes par deux méthodes, une biochimique, analyse des acides gras membranaires des microorganismes (EL-FAME), l'autre moléculaire, une empreinte moléculaire du gène de l'ADNr 16S effectuée sur gel en gradient dénaturant. Nous avons aussi analysé la composition de la matière organique du sol de chacun des échantillons par spectroscopie en proche infrarouge (SPIR) et estimé les teneurs en carbone et en azote, pour voir si l'ingestion du sol et la présence des vers de terre modifiaient sa composition.

L'analyse SPIR a permis de montrer une modification qualitative de la matière organique dans les turricules par rapport au sol non ingéré. La structure des communautés microbiennes dans les turricules n'est pas différente de celles du reste du sol, cependant, on y observe une diminution aussi bien des biomasses bactériennes que fongiques. Parallèlement, la diversité bactérienne diminue dans les turricules de vers terre par rapport au sol et ces turricules n'hébergent pas de communautés bactériennes spécifiques aux turricules. Des analyses en PCR quantitative ont montré que la communauté dénitrifiante identifiée par les gènes NirK et NosZ tient une part plus importante dans les turricules que dans le sol non ingéré. Ce travail démontre que la modification profonde de l'environnement à la fois physique et organique (qualité de la matière organique) du sol induite par l'activité des vers de terre modifie l'ensemble des paramètres descriptifs de la communauté microbienne (densité, diversité, activité).

Apport de compost sur un sol méditerranéen après incendie : effets sur la biomasse, la diversité fonctionnelle et les activités enzymatiques microbiennes

Antoine Cellier*, Christine Ballini, Virginie Baldy, Raphaël Gros, Thierry Gauquelin

Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, UMR CNRS 6116, Aix-Marseille Université, Case 421, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, Avenue Escadrille Normandie Niemen, 13397 Marseille Cedex 20, France

** Corresponding author: antoine.cellier@etu.univ-provence.fr
tel: +33 491 288 506; fax: +33 491 288 707*

En région méditerranéenne, les incendies sont un des facteurs majeurs de dégradation de l'environnement lorsque, comme actuellement, ils sont de plus en plus récurrents et associés à des périodes de sécheresse. Ils entraînent une perte qualitative et quantitative de la matière organique et des nutriments du sol durant l'incendie. Ceci est accentué par l'augmentation du risque d'érosion due à la diminution de la stabilité du sol et de la vitesse de reprise de la végétation. L'apport de compost est considéré comme étant une solution à ce processus. Dans cette étude, nous avons déterminé l'effet *in situ* de l'apport en mulch d'un compost de boue de station d'épuration sur un sol de garrigue récemment incendié sur le plateau de l'Arbois en Provence calcaire. La biomasse, la diversité fonctionnelle et des activités enzymatiques (FDAse, phénoloxydase, phosphatase alcaline et uréase) microbiennes ont été suivies à 1, 3 et 6 mois après épandage comme indicateurs des effets du compost à court et moyen termes sur les propriétés du sol amendé.

L'apport de compost en mulch forme une couche protectrice en surface. Celle-ci permet le maintien de l'humidité dans la couche superficielle du sol après une pluie et ainsi un développement plus important de la biomasse microbienne. De plus, cet apport augmente la diversité des fonctions cataboliques de la communauté microbienne mais n'a pas d'effet significatif sur les activités enzymatiques étudiées.

ETUDE DE LIPIDES COMPLEXES (ALKYL TETRAETHERS DE GLYCEROL) DANS LES SOLS

Arnaud HUGUET^{1*}, Céline FOSSE², Pierre METZGER¹ et Sylvie DERENNE¹

* arnaud-huguet@enscp.fr

1 CNRS UMR 7618 BioEMco – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris cedex 5 – France

2 Laboratoire de Spectrométrie de Masse, UMR CNRS 7573 - ENSCP – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris cedex 5 – France

Les lipides sont des constituants importants de la matière organique des sols (MOS), de par leur grande résistance à la dégradation et leur influence sur les caractéristiques des sols. La plupart des études de la fraction lipidique de la MOS concerne les molécules de faible masse moléculaire (<500 Da). Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à des lipides complexes, de haut poids moléculaire (> 1000 Da), les alkyl tétraéthers de glycérol. Ces derniers sont synthétisés dans les membranes des archae et de certaines bactéries. Les tétraéthers d'origine bactérienne se distinguent de ceux des archae par la nature de leurs chaînes alkyles : ramifiées mais non isopréniques. Des études récentes [1, 2] ont montré une variabilité au niveau de la structure des tétraéthers, qui pourrait être liée à celle du pH des sols et à la température de l'air. Ces lipides pourraient donc être utilisés comme indicateurs d'environnement.

Les tétraéthers peuvent exister soit à l'état libre, c'est à dire sous forme de lipides neutres, soit à l'état lié sous forme de lipides polaires. Jusqu'à présent seuls les tétraéthers présents dans les sols à l'état libre ont été étudiés alors qu'il est connu que les informations fournies par les lipides liés sont souvent moins influencées par les perturbations qui ont suivi leur formation. C'est à cette absence de données concernant les tétraéthers liés que nous avons voulu palier. Pour cela nous avons choisi d'étudier dans un premier temps des échantillons de podzols prélevés en Amazonie et à Ermenonville (Nord-Est de Paris). Les lipides complexes libres et ceux présents sous forme liée (libérés par méthanolyse en milieu acide pour en faciliter l'étude) ont été caractérisés par chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse. Nous avons comparé la structure et l'abondance des tétraéthers à l'état libre et à l'état lié dans différents horizons de sols. Nos résultats montrent que les tétraéthers d'origine bactérienne sont présents dans les différents horizons de sols étudiés, sous forme libre et sous forme liée. Les tétraéthers des archae ont également été détectés, mais en bien plus faible abondance.

Références :

[1] J.W.H. Weijers, S. Schouten, O.C. Spaargaren, J.S. Sinninghe Damsté. *Organic Geochemistry* **37**, 1680-1693 (2006).

[2] J.W.H. Weijers, S. Schouten, J.C. van den Donker, E.C. Hopmans, J.S. Sinninghe Damsté. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, 703-713 (2007).

Suivi des dynamiques conjointes du carbone et des communautés microbiennes d'un sol par traçage du ^{13}C en abondance naturelle

T. Lerch¹, M.F. Dignac², N. Nunan², A. Mariotti²

1. UMR Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon

2. UMR Biogéochimie et Ecologie des Milieux Continentaux, 78850 Thiverval-Grignon

La matière organique des sols (MOS) assure des fonctions essentielles, non seulement vis-à-vis du sol en tant que ressource pour l'agriculture, mais aussi vis-à-vis des écosystèmes continentaux. L'amélioration des connaissances sur la dynamique des MOS et sur le rôle central de la biomasse microbienne apparaît nécessaire dans l'optique d'une utilisation durable des sols. Le taux de renouvellement du carbone organique des sols varie selon sa nature : de quelques semaines pour le soluble à l'eau à plusieurs années voir millénaires pour des formes très humifiées. Grâce au marquage isotopique au ^{13}C sur des sols cultivés successivement avec des plantes C3 et C4 (e.g. Balesdent et al., 1988 ; Gregorich et al., 2000), des modèles à compartiments ont pu être élaborés pour décrire les flux de C sur plusieurs années. Peu d'étude ce sont intéressées à des échelles de temps plus réduites permettant de prendre en compte l'évolution des communautés microbiennes responsables des transformations de la MOS.

L'objectif de cette étude est de suivre sur le court terme la dynamique du carbone organique, sa minéralisation et l'évolution des communautés microbiennes sans apports exogènes de MO. Pour cela, nous avons prélevé des échantillons de sol dans l'horizon labouré d'une parcelle expérimentale des *Closeaux* (INRA Versailles) cultivée uniquement en blé (%C=1,3%, $\delta^{13}\text{C}=-26,2\text{‰}$). Après ajustement du pH à la capacité au champ, le sol a été incubé durant 6 mois à 20°C. A chaque pas de temps, les quantités de C et les teneurs en ^{13}C ont été mesurées sur la fraction minéralisée, la biomasse microbienne par fumigation-extraction, les extraits obtenus successivement à l'eau, au méthanol, au dichlorométhane et la MO non extractible. La caractérisation des communautés microbiennes a été réalisée par analyse des acides gras bactériens (TLFA) contenus dans les deux fractions lipidiques (Lerch et al., 2008).

L'analyse globale et temporelle du C dans les microcosmes montre un lien étroit entre la variation du taux de minéralisation, celle de la taille de la biomasse microbienne et celle des quantités extraites à l'eau. L'analyse statistique des profils de TLFA a mis en évidence des changements significatifs de la structure des communautés microbiennes conjointement à la dynamique du C dans le système. Les teneurs isotopiques du CO_2 émis et de la biomasse microbienne totale, respectivement appauvrie et enrichie par rapport à celle de la MOS totale, s'appauvrissent progressivement durant l'expérience. Paradoxalement, le C soluble à l'eau, plus facilement dégradé et initialement enrichi par rapport à la MOS totale n'évolue pas autant. Ces résultats suggèrent que les microorganismes ont d'abord consommé le C soluble, se sont ainsi enrichis en ^{13}C , puis ont alimenté par leur turnover le C soluble en C enrichi, compensant probablement l'appauvrissement de ce compartiment par la dissolution de molécules issues de la MO plus stable. Enfin, l'analyse isotopique des TLFA a révélé que si la signature moyenne évoluait de la même façon que celle de la biomasse totale, des groupes microbiens spécifiques se distinguaient néanmoins. Cette étude confirme d'une part que la succession des communautés microbiennes dans un sol tel que l'ont proposé Fontaine et al. (2003) est étroitement liée à la dynamique du C, et notamment de la fraction soluble à l'eau. D'autre part, la modélisation des flux basée sur ces données montre que la contribution de la biomasse microbienne à la MO stable pourrait s'accompagner à plus long terme d'un enrichissement progressif en ^{13}C .

Balesdent J. et al. (1988). *Soil Science Society of America Journal*, 52 : 118-124.

Fontaine S. et al. (2003). *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 837-843

Gregorich E.G. et al. (2000). *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 581-587

Lerch T.Z. et al. 2008. *Soil Biology & Biochemistry* (sous presse)

Effet du compostage sur la biodégradation de résidus végétaux dans les sols et la dynamique des communautés microbiennes impliquées

T. Lerch, M.F. Dignac, C. Mchergui, G. Bardoux, S. Houot

L'épandage de composts issus de déchets organiques sur les sols agricoles est une pratique de plus en plus courante qui permet le recyclage de leur fraction organique. Cette pratique conduit généralement à une augmentation des teneurs en matières organiques des sols (MOS), qui a été observée sur le site expérimental QualiAgro (Feucherolles, 78, France; collaboration INRA-Veolia Environnement R&D) où des composts sont épandus tous les deux ans depuis 10 ans (Peltre, 2007). Cependant, l'effet du compostage sur la dynamique des matières organiques (MO) dans les sols est encore mal connu. Le procédé de compostage consiste en une dégradation accélérée des MO issues des déchets en conditions aérobies conduisant à leur stabilisation (de Bertoldi et al., 1983). Contrairement à la dégradation naturelle des MO dans les sols, le compostage s'accompagne d'une augmentation significative de la température (jusqu'à 60°C) favorisant l'activité de certains microorganismes pendant la phase de dégradation thermophile. Les transformations biologiques lors du compostage peuvent certainement influencer la dynamique dans les sols des MO formées.

L'objectif de cette étude est de mieux comprendre 1) les transformations moléculaires qui se produisent lors du compostage de résidus végétaux, 2) les effets de ces transformations sur leur biodégradation dans les sols, 3) les conséquences sur les communautés microbiennes. L'analyse de fractions biochimiques telles que les sucres (Rumpel et Dignac, 2006), les lipides (Lerch et al, 2008) et les lignines (Dignac et al., 2005) a permis de mettre en évidence les changements de compositions moléculaires et isotopiques des MO au cours du compostage, liés à la dégradation des composés végétaux, et à la croissance de la biomasse microbienne. Grâce au marquage isotopique au ^{13}C des végétaux ($\delta^{13}\text{C}$ global d'environ 270‰), nous avons pu suivre le devenir du C des résidus végétaux compostés pendant 3 mois ou non compostés au cours d'une incubation dans un sol en conditions contrôlées (20°C, pF2) durant 6 mois. A chaque pas de temps, nous avons mesuré la quantité et l'enrichissement en ^{13}C du CO_2 dégagé, de la biomasse microbienne par fumigation-extraction et des acides gras des phospholipides microbiens (PLFA) (Lerch et al., 2008) .

Après 3 mois de compostage, la masse de végétaux compostés a diminué de presque 60% (calculé sur la matière sèche). La teneur en carbone organique des résidus diminue de 10%. La teneur en N total augmente elle de 35% pendant le compostage, expliquant par ailleurs la diminution du C/N de 11 à 8. L'analyse des fractions biochimiques a révélé des compositions différentes en lignines, sucres et lipides. Pendant les 3 mois de compostage 69% du C des résidus a été minéralisé et après apport au sol, 11% du C du compost s'est minéralisé en 3 mois d'incubation, soit une perte totale de 72% du C initial des résidus non compostés. Si on compare à un apport direct des résidus végétaux non compostés au sol, sur une période équivalente de 6 mois d'incubation, les pertes en C sont de 60% du C apporté, donc plus faibles que le bilan "compostage + apport au sol" de composts. L'apport de MO (compostée ou non) au sol n'a pas augmenté de façon significative la biomasse microbienne. Les cinétiques d'incorporation dans la biomasse microbienne et de minéralisation du C apporté sont similaires : l'enrichissement en ^{13}C est moins élevé lorsque les résidus sont compostés, suggérant une biodégradation plus faible après compostage. Le suivi des PLFA a permis de mettre en évidence des changements ponctuels (entre 3 et 21 jours) de communautés microbiennes totales selon que les résidus apportés soient compostés ou non. Enfin, l'analyse isotopique des PLFA a permis de cibler les microorganismes responsables de la dégradation de ces MO exogènes.

De Bertoldi et al. 1983. *Wastes Management and Research*, 1, 157-176

Dignac M.-F. et al. 2005. *Geoderma*, 128, 3-17.

Lerch T.Z. et al. 2008. *Soil Biology & Biochemistry* (sous press)

Peltre C. 2007. Mémoire de Master 2 (ECH, Parcours Sols), AgroParisTech-UPMC.

Rumpel C. et Dignac M.-F. 2006. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 1478-1481.

Evolution saisonnière des caractéristiques (spectrofluorescence, chromatographie d'exclusion) des matières organiques dans les eaux des lacs perialpins (Annecy, Léman) et de leurs affluents

**Poulenard J.^a, Parlanti E.^b, Lazzarotto J.^c, Fanget B.^d, Perrette Y.^d,
Hustache JC^c, Dorioz JM^c**

a. Université de Savoie. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Écosystèmes Limniques, — Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac France.

b. Université Bordeaux 1 ; CNRS ; UMR 5255 ; ISM-LPTC, Laboratoire de Physico- & Toxicochimie de l'Environnement, 351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex, France

c. INRA. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Écosystèmes Limniques, — 74200 Thonon les Bains, France

d. CNRS. Environnements et DYNAMIQUES des Territoires de Montagne, Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac France

Les écosystèmes aquatiques reçoivent des apports conséquents de matière organique d'origine terrestre qui pourraient, lorsqu'ils sont intégrés dans les réseaux trophiques, soutenir une part significative de la production secondaire et piscicole de ces écosystèmes ou modifier la structure des communautés. Les études relatives à l'impact fonctionnel des apports d'origine terrestre aux écosystèmes lacustres sont, jusqu'à présent, essentiellement centrées sur les lacs peu profonds des boucliers scandinaves et Nord-américains. Les connaissances sont encore sporadiques en ce qui concerne les lacs profonds, dans lesquels la contribution du carbone d'origine terrestre n'a encore été que peu quantifiée. L'étude de la part prise par les apports allochtones dans le fonctionnement du système semble plus particulièrement pertinente dans les milieux en voie de réoligotrophisation, milieux dont ils pourraient maintenir la productivité.

Dans le cadre d'une étude préalable sur les possibilités de distinguer les matières organiques d'origine terrestre dans les écosystèmes lacustres, un suivi mensuel des caractéristiques des MOD aquatiques dans la masse d'eau lacustre et dans les affluents a été mis en place.

Des échantillons du niveau 0-20 m ont été prélevés dans le centre des lacs d'Annecy et du Léman de mars 2007 à mars 2008. Parallèlement des échantillons ont été prélevés dans la zone littorale du lac Léman et dans un certain nombre d'affluent des deux lacs.

Les échantillons prélevés et filtrés à 0.2µm ont été analysés en utilisant les outils suivants : analyseur de DOC, spectromètre UV-visible, spectroscopie de fluorescences 3D, chromatographie d'exclusion stérique.

Les résultats mettent en évidence que les spectres de fluorométrie 3D peuvent constituer des signatures des différentes eaux. Les caractéristiques des MO fluorescentes apparaissent en effets bien distinctes :

- prédominance des substances humiques dans les apports (indice HIX élevé)
- importance des pics liés à la production récente de MO (pic γ de fluorescence) dans les eaux du centre des lacs
- importance de l'activité biologique dans les zones littorales directement sous l'influence d'une rivière

On constate par ailleurs une très nette évolution de la taille moyenne et de la distribution des familles de tailles de molécules au cours de la saison dans les eaux des lacs (diminution de la taille moyenne lors des pics de production printanier et estivaux) mais également dans les eaux des affluents).

Ces résultats préliminaires mettent enfin en évidence le besoin d'études intégrées des matières organiques dans les écosystèmes lacustres avec une nécessaire combinaison d'approches analytiques diverses (spectroscopique, chromatographique mais aussi biomarqueurs) pour comprendre les interactions entre matières organiques autochtones et allochtones dans ces écosystèmes.

Is biochemical composition of grass land species a driver of organic matter decomposition under field conditions?

Muhammad Sanaullah¹, Cornelia Rumpel¹ and Abad Chabbi²

¹BIOEMCO, CNRS-INRA-Université Paris VI, Thiverval-Grignon, France,

²UEFE, INRA Poitou-Charentes, Lusignan, France

The relation between plant chemical composition and its turnover is poorly understood. In particular the biochemical composition of the residues and the relative contribution of labile versus refractory plant litter compounds may be drivers of the decomposition processes. This composition will most probably depend on plant species as well as type of material. Our objective was to follow the decomposition process of three grassland plant species and to assess carbon and nitrogen dynamics during one year incubation under field conditions on a molecular basis. Moreover, we wanted to assess the influence of different types of plant material (mulch and litter) on the decomposition process. We hypothesized that mature green leaves (mulch) have a higher contribution of labile compounds and are decomposed more rapidly than dead leaves (litter) which had been subject to N recycling and were still attached to the plant.

Our conceptual approach included separation of mulch and litter of three grass land species (*Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* and *Dactylis glomerata*) and their exposure in litter bags on the bare soil surface in order to quantify the dynamics of cell wall components like polysaccharides, lignin. The samples were analysed for elemental and isotopic composition. We quantified lignin monomers after CuO oxidation by gaschromatography. Polysaccharides were quantified gaschromatographically after acid hydrolysis (TFA).

Our data shows that mulch and litter of had significantly different composition regarding total C, N, lignin and polysaccharies concentrations. Carbon and Nitrogen concentrations were higher in mulch compared with litter while C:N ratio, lignin and polysaccharides contents were higher in litter than in mulch. *D. glomerata* and *L. perenne* have almost the same chemical composition in both mulch and litter while *F. arundinacea* has different composition with higher concentration of lignin and lower concentration of N in both mulch and litter. The rate of dry weight loss was much higher in *L. perenne* as compared to other two species. In *L. perenne* mulch, lowest amounts of initial C (3 %) were remaining after 44 weeks of incubation while in other species, the percent carbon remaining was much higher than *L. perenne*. The highest amount of C was remaining in *D. glomerata* and *F. arundinacea* litter (35 and 25%), respectively while *L. perenne* has again lower C remaining than the other two species. These results indicate more rapid OM decay for mulch compared to litter for all three plant species. Similar to carbon, lignin degradation showed contrasting behaviour for mulch and litter. However, compared to carbon, higher amounts of lignin seemed to be remaining after 44 weeks of incubation. For polysaccharides, the ratios of more likely microbial derived sugars to plant derived sugars were calculated (C6/C5 and deoxy/C5). At the beginning of the incubation period, both ratios were similar in all samples. Thereafter more rapid increase in both ratios was observed for mulch with regards to litter which could indicate that a higher proportion of microbial carbohydrates is present in mulch compared to litter. In mulch, *L. perenne* had higher C6/C5 and deoxy/C5 ratios than other grass species while in litter these ratios were almost similar in all three species.

In conclusion, we did not observe an influence of the initial biochemical composition (lignin, polysaccharide content) of the plant species on the degradation rates of mulch and litter. We observed however, contrasting degradation of the two types of plant material (mulch and litter). Our data confirm the dominant role of lignin and nitrogen content for the decomposition of plant litter.

Session 3

Oral

Etude de la disponibilité des contaminants organiques hydrophobes dans les sédiments marins: utilisation des échantillonneurs passifs

Tixier C, Tronczyński J, Munsch C, Léauté F, Héas-Moisan K, Olivier N, Truquet I

IFREMER, Département Biogéochimie et Ecotoxicologie, Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Organiques, Rue de l'Ile d'Yeu. BP 21105, 44311 Nantes Cedex 03

Les contaminants organiques hydrophobes (COH) ont tendance à s'accumuler dans les sédiments marins qui se comportent alors comme puits et/ou comme source de contamination. L'étude de la disponibilité de ces contaminants constitue donc un enjeu important pour une meilleure connaissance du devenir des COH, de l'exposition des organismes aquatiques et de la contamination de l'ensemble de la chaîne trophique des écosystèmes aquatiques.

Dans le compartiment sédimentaire, les COH, composés neutres, sont associés à la phase particulière de manière plus ou moins réversible. Leur disponibilité dépend surtout de leurs interactions avec la matière organique sédimentaire. Dans la littérature, diverses méthodes ont été décrites afin de caractériser la disponibilité des COH : i) extraction séquentielle des sédiments ; ii) exposition d'une suspension aqueuse de sédiment à un adsorbant ou agent complexant, qui va capter les COH dissous libérés de la matrice solide ; iii) mise à l'équilibre des sédiments avec une fine couche de polymère et détermination de la concentration en COH dissous libre à l'équilibre avec les sédiments.

Au cours de cet exposé, seront brièvement abordés les principes, avantages et limites de ces diverses approches visant à évaluer la disponibilité des COH. Les principaux résultats de nos travaux basés sur l'utilisation d'échantillonneurs passifs de type membrane en polyéthylène basse densité (LDPE, Low Density PolyEthylene) seront alors présentés. Des membranes en LDPE ont été exposées en conditions contrôlées de laboratoire à des sédiments de surface prélevés dans l'estuaire de la Seine et dans une lagune méditerranéenne, l'étang de Thau. Ces expérimentations ont permis d'accéder aux concentrations de COH dissous libres dans les eaux interstitielles pour toute une série d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de polychlorobiphényles (PCB). En combinant ces informations avec les concentrations totales en COH dans le sédiment, nous avons pu déterminer un coefficient de partage sédiment-eau (K_d) et comparer la disponibilité de ces contaminants dans ces sédiments. Les fortes valeurs de K_d observées révèlent de façon générale une plus faible disponibilité des contaminants organiques hydrophobes dans les sédiments de l'étang de Thau. Des expérimentations similaires ont été menées sur divers horizons d'une carotte sédimentaire datée, également prélevée dans l'étang de Thau. Les sources de contamination, la nature et l'âge de la matière organique diffèrent d'un horizon à l'autre. Le vieillissement récent de la matière organique sur une échelle de 100 ans environ ne paraît pas influencer significativement la disponibilité des contaminants. Par contre, des variations observées dans les couches correspondant au niveau préindustriel semblent indiquer une augmentation de la mobilité des HAP, vraisemblablement due à un changement de l'origine de la matière organique. Une meilleure caractérisation de la matière organique sédimentaire et en particulier du « carbone-suie », permettrait de compléter l'exploitation de nos résultats.

Réactivité des compartiments de matière organique des boues d'épuration envers les Composés Traces Organiques : adsorption

Barret M., Patureau D., Delgenes J.-P. & Carrère H.

INRA, UR050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Avenue des Etangs, 11100 Narbonne, France

Les Composés Traces Organiques (CTOs) tels que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) et le nonylphénol (NP) présentent des propriétés physico-chimique favorisant leur adsorption sur la matière organique (MO). Dans le contexte de l'épuration des eaux usées, les phénomènes d'adsorption sur la MO vont conditionner non seulement le devenir physique des CTOs, notamment au cours des procédés de séparation tels la décantation primaire, mais aussi leur devenir biologique, en influençant leur biodisponibilité envers les microorganismes épurateurs. Il est donc important de précisément quantifier la réactivité de la MO en tant qu'adsorbant. Cependant, l'adsorption, tout comme la biodisponibilité des CTOs dans les boues, est généralement abordée selon une approche biphasique, distinguant le compartiment aqueux et le compartiment particulaire. Or, représenter la boue comme un système biphasique n'est pas exact, puisque les CTOs peuvent aussi interagir avec la matière colloïdale et dissoute présente dans les boues d'épuration. Ainsi, la boue devrait être décrite par un système triphasique pour les CTOs : phase libre, phase adsorbée à la matière colloïdale/dissoute et phase adsorbée à la matière particulaire. Ce système est alors régi par deux équilibres thermodynamiques : entre CTOs libres et adsorbés à la matière colloïdale/dissoute (constante d'équilibre K_{col}), et entre CTOs libres et adsorbés à la matière particulaire (K_{part}). K_{col} et K_{part} permettent de quantifier la réactivité des deux compartiments de MO des boues envers les CTOs.

Une méthodologie a été conçue pour étudier ces deux équilibres de façon concomitante. Elle est basée sur la mesure du coefficient de partition des CTOs entre phase particulaire et aqueuse (somme des entités libres et associées à la matière colloïdale/dissoute) en fonction de la concentration en matière colloïdale/dissoute. Puis, ce coefficient dépendant aussi de K_{col} et K_{part} , ceux-ci ont pu être estimés. Cette méthodologie a été appliquée à treize HAPs et au NP, et dans quatre boues différentes : une boue primaire, une boue activée, cette même boue activée traitée thermiquement comme cela est pratiqué pour améliorer la digestion anaérobie, et enfin cette boue activée digérée en conditions anaérobies. Le choix de ces boues permet de balayer une importante variété de matrices générées par les différents procédés de traitement d'eau et boue.

Dans l'exemple de la boue activée, la corrélation linéaire classique avec l'hydrophobicité des CTOs ($\log K_{ow}$) a été observée pour K_{part} et K_{col} . De façon intéressante, les deux pentes obtenues sont similaires, contrairement aux ordonnées à l'origine, impliquant des K_{part} supérieurs aux K_{col} pour chaque composé. Cette disparité provient de caractéristiques physico-chimiques différentes selon le compartiment, générant une plus forte réactivité de la MO particulaire.

La comparaison des quatre boues souligne une plus importante affinité des CTOs pour la matière particulaire issue de la boue activée digérée, ce qui est lié à l'évolution de la MO au cours du traitement biologique. L'impact des processus biologiques est aussi notable sur le ratio K_{col}/K_{part} . Celui-ci augmente dans l'ordre boue primaire – boue activée – boue activée digérée, indiquant que les procédés aérobie comme anaérobie tendent à homogénéiser les caractéristiques des compartiments de MO particulaire et colloïdale/dissoute.

De plus, la réactivité de la matière colloïdale/dissoute traitée thermiquement n'a pas pu être détectée, probablement du fait de la dénaturation de la MO par la chaleur. Ainsi, le traitement thermique diminue la concentration en CTOs en phase aqueuse, souvent considérée comme biodisponible. Ce résultat s'oppose à l'hypothèse d'amélioration de biodisponibilité avancée pour expliquer les meilleurs abattements de CTOs obtenus sur boues pré-traitées.

La caractérisation physico-chimique des boues utilisées permettra de quantifier l'influence des caractéristiques des MO des boues sur leur réactivité en tant qu'adsorbant vis-à-vis des CTOs, et de proposer un modèle prédictif de répartition des CTOs entre les trois compartiments d'une boue donnée. Ce modèle sera directement exploitable pour prédire les flux de CTOs au travers des traitements physiques en fonction de la MO traitée. De plus, il constituera un outil d'exploration du lien entre adsorption et biodisponibilité des CTOs.

POLLUTION DES CAPTAGES EN RETENUE DE BRETAGNE PAR LES MATIERES ORGANIQUES: QUANTIFICATION DES PARTS ALLOCHTONES ET AUTOCHTONES

Gérard Gruau⁽¹⁾, Emilie Jardé⁽¹⁾, Anne-Catherine Pierson-Wickmann⁽¹⁾, Nicolas Gaury⁽¹⁾, Luc Brient⁽¹⁾, Patrice Petitjean⁽¹⁾, O. Hénin⁽¹⁾, A. Crocq⁽²⁾, J.-Y. Gaubert⁽²⁾

⁽¹⁾ CAREN, CNRS-Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex

⁽²⁾ Veolia Eau, Région Ouest, 5 Allée Rodolphe Bobierre, 35020 Rennes Cedex 9

Un quart des prises d'eau brute superficielle en retenue de Bretagne étaient déclarées non-conformes en 2006 sur le paramètre matière organique (MO). Les risques sanitaires qu'engendre la présence de MO dans les eaux brutes imposent de comprendre l'origine des MO polluantes, et ce d'autant plus que ces dernières s'avèrent être de nature dissoute (MOD) et donc difficiles à traiter. Cette compréhension est un préalable à la détermination des mesures correctives à mettre en place pour permettre un retour à la conformité des masses d'eau concernées. Dans le cas de captages en retenue, cette compréhension est rendue complexe par la superposition potentielle de sources allochtones de MO situées sur le bassin versant (BV) et de sources autochtones situées au sein des retenues (phytoplancton et sédiments biogènes), ces dernières devant être particulièrement considérées dans le cas de retenues eutrophes comme celles de Bretagne. La démarche présentée dans cette étude, consistant à coupler un bilan des entrées et sorties de carbone organique dissous (COD) avec des profils verticaux de la distribution du phytoplancton et du COD, et des analyses de la composition de la MO des sédiments biogènes stockés en fond de retenue, a permis de mettre en évidence et de quantifier la part de chacune de ces sources dans le cas de deux retenues de Bretagne, l'une alimentant la ville de Dinard et les communes avoisinantes – retenue du Frémur – (15 000 habitants desservis), l'autre l'agglomération rennaise (500 000 habitants desservis) – retenue de Rophemel. Les suivis journaliers des concentrations en COD effectués pendant une année hydrologique complète montrent que les eaux alimentant ces deux retenues sont très riches en MOD. Exprimées en concentration moyenne annuelle, la concentration en COD est de 9.1 mg/L dans le cas des eaux alimentant la retenue du Frémur et de 8.9 mg/L dans le cas de celles alimentant la retenue de Rophemel. Ces mêmes suivis montrent que les concentrations moyennes en aval des retenues, au point de captage, sont sensiblement équivalentes à celles mesurées en entrée: 9.3 mg/L en sortie pour le Frémur; 9.0 mg/L pour Rophemel. Exprimées en fréquence de dépassement de la limite réglementaire, ces concentrations moyennes en sortie correspondent à des fréquences de dépassement très élevées de la limite réglementaire MO (30%) confirmant le caractère non conforme de l'eau de ces retenues. Concernant les sources, les résultats montrent que les sédiments biogènes accumulés au fond des deux retenues, malgré un fort potentiel, ne contribuent pas à enrichir l'eau des retenues en COD. Le curage des sédiments n'est donc pas de nature à permettre un retour à la conformité de ces masses d'eau. Concernant les contributions du phytoplancton, les profils réalisés de la distribution verticale des teneurs en chlorophylle et du COD montrent une contribution légère du phytoplancton dans le cas de la retenue du Frémur (10% en moyenne du total du COD présent entre avril et septembre), alors que cette contribution est nulle dans le cas de la retenue de Rophemel malgré des teneurs en chlorophylle ponctuellement élevées (=80 µg/L). Concernant les mesures à mettre en œuvre et leur impact attendu, une simulation montre qu'une éradication totale du phytoplancton pendant la période suivie aurait permis de rendre la retenue du Frémur conforme à l'actuelle limite réglementaire française. Il ne s'agit toutefois pas d'une solution durable dans la mesure où cette éradication aurait laissé une teneur en COD très élevée au droit de la prise d'eau (=9 mg/L pendant 30% du temps), laissant celle-ci sujette à d'éventuels dépassements dans le cas d'une augmentation, même légère, des apports en provenance du BV. De plus, la Directive Cadre européenne sur l'Eau fixe à 7 mg/L la concentration maximale en COD d'une masse d'eau pour que celle-ci soit déclarée "écologiquement bonne". En fait, les simulations effectuées sur la retenue du Frémur, couplées au cas de la retenue de Rophemel ou la MOD polluante du captage est 100% d'origine allochtone, montrent que seules des mesures visant à limiter les apports de MOD en provenance des BV sont de nature à permettre un retour durable à la conformité de ces deux masses d'eau.

Suivi in situ de l'atténuation naturelle et de l'impact environnemental de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques) dans un sol de friche industrielle en présence ou non de végétation

C. Leyval¹, T. Beguiristain¹, C. Biache³, A. Cébron¹, P. Faure³, J.F Masfaraud⁴, M.P. Norini¹, S. Ouvrard², M.O. Simonnot⁵, P. Vasseur⁴

¹*LIMOS, UMR 7137 Nancy Université, CNRS, Vandoeuvre-les-Nancy*

²*LSE: UMR 1120 Nancy Université INPL- ENSAIA/INRA), Vandoeuvre les Nancy*

³*G2R : UMR 7566 Nancy Université CNRS Vandoeuvre-les-Nancy Cedex*

⁴*LIEBE : UMR 7146 Université de Metz CNRS, Metz*

⁵*LSGC : UPR 6811 CNRS NANCY*

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des polluants majeurs dans l'environnement. La biodégradation microbienne est un processus majeur de réduction de la concentration de ces polluants, mais ce processus est souvent limité in situ par la disponibilité des polluants. Par ailleurs, la présence de plantes, par l'augmentation de l'activité microbienne dans la rhizosphère, contribue à augmenter la biodégradation des HAP, mais peut aussi augmenter leur disponibilité. Le traitement des sols contaminés par des techniques biologiques ou physico-chimiques permet de réduire la contamination en HAP, mais pas de l'éliminer complètement, ne réduit pas la concentration en ETM éventuellement présents, et peut affecter les fonctions essentielles des sols. Peu d'études ont été effectuées pour préciser le devenir à long terme de ces polluants dans les sols contaminés, mais aussi de sols qui ont subi un traitement de remédiation, dans un contexte d'atténuation naturelle, assistée ou non par la présence d'une végétation.

L'objectif de cette étude est de quantifier *in vivo* et *in situ* le devenir à long terme et l'impact des HAP dans un sol pollué de friche industrielle planté ou non, et dans le même sol après traitement par désorption thermique, dans un contexte d'atténuation naturelle. Elle s'appuie sur un dispositif de parcelles mis en place en 2005 sur le site expérimental du GISFI (www.gisfi.prd.fr) à Homécourt. Ce dispositif comporte quatre parcelles des différents traitements: parcelles de terre nue, plantées avec de la luzerne mycorhizée ou non, ou recolonisées par la végétation spontanée pour le sol contaminé et des parcelles plantées avec la luzerne pour le sol traité par désorption thermique. Des prélèvements réguliers de sol, végétaux et effluents sont effectués. Les analyses portent sur la caractérisation des polluants, leur biodisponibilité, leur toxicité, la biomasse végétale, sa diversité, l'activité microbienne fonctionnelle. Les résultats après 2 ans de suivi des parcelles montrent que le système évolue peu d'un point de vue chimique (teneurs en polluants, transfert vers les eaux ou les organismes) et entre les modalités. Cependant, la prise en compte des paramètres biologiques met en évidence des résultats différents, notamment une toxicité des terres et des percolats vis à vis des organismes (Thlaspi, mycorhizes, écotoxicité), et la présence de bactéries portant les gènes de dégradation des HAP en plus grand nombre dans les parcelles plantées. La poursuite de cette expérience à long terme permettra de suivre l'évolution de la teneur en polluants et de leur toxicité dans le sol, de la capacité des microorganismes à les dégrader et des conséquences sur la biodisponibilité des polluants.

Incidence d'une production de charbon de bois sur les matières organiques émises dans l'atmosphère et diffusées dans les sols

**Pissot N.^a, Poulénard J.^b, Besombes J.L.^a, Fanget B.^c, Guittonneau S.^a, Saber A-I.^a,
Deutsch L.^a, Silvestre M.^{a,b,c}, Perrette Y.^c**

*a. Université de Savoie. Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement.
Polytech'Savoie — Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac, France.*

*b. Université de Savoie. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des
Écosystèmes Limniques — Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac, France.*

*c. CNRS. Environnements et DYnamiques des Territoires de Montagne — Savoie Technolac,
73376, Le Bourget du Lac, France.*

La production de charbon de bois en motte (charbonnage) est une opération très pratiquée à l'échelle mondiale. Ce mode de production utilisé depuis l'antiquité a également été très largement mis en œuvre en Europe pendant des siècles et a fortement marqué les paysages (effet sur la végétation et sur la topographie, aménagements hydrauliques...). Une association du Vercors visant la valorisation des savoir-faire locaux a réalisé une "cuite" traditionnelle en septembre 2007 sur la commune de Saint Julien en Vercors (26). Cette cuite a fourni une opportunité scientifique exceptionnelle pour étudier les implications de cette technique sur l'environnement.

La production de charbon de bois par le biais d'une charbonnière en motte consiste en la cuisson sans flamme de bois. Une pyramide de bois est constituée autour d'une cheminée centrale avant d'être fermée par un mélange de terre et de mat racinaire. La cuite est contrôlée par la ventilation de la motte au moyen de trous fermés ou ouverts dans cette gangue de terre. La qualité de la cuisson est suivie en fonction de la couleur des fumées.

Cette description factuelle de la méthode du charbonnage en motte montre que cette activité a une incidence notable sur l'atmosphère durant la cuite et sur les sols après celle-ci. Afin d'évaluer ces deux aspects, les émissions atmosphériques et les matières organiques des sols (types, produits chimiques disponibles) ont été étudiées.

L'analyse par Chromatographie en phase Gazeuse couplée à un Spectromètre de Masse (GC-MS) des échantillons d'aérosols prélevés, montre des concentrations absolues en traceurs de combustion de la biomasse très importantes, en particulier pour le lévoglucosan (dérivé de la cellulose), avec des concentrations moyennes de 11,9 mg.m⁻³ au démarrage de la charbonnière, et de 4,1 mg.m⁻³ en allure nominale. Les profils d'émission des méthoxyphénols (dérivés de la lignine) observés sont en accord avec ceux rencontrés dans la littérature, avec notamment des émissions beaucoup plus importantes des diméthoxyphénols par rapport aux monométhoxyphénols, caractérisant la combustion d'un bois dur (dans notre cas le hêtre). La mesure des données usuelles de la caractérisation de l'aérosol montre une composante organique très importante allant jusqu'à des concentrations moyennes de 120,2 mg.m⁻³ en carbone organique et de 8,3 mg.m⁻³ en carbone élémentaire. À l'émission de la charbonnière cet aérosol présente de très fortes concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) particuliers.

Les sols du centre de la charbonnière sont étudiés deux jours après la fin de la cuisson et six mois après cette opération. Pour étudier le devenir des Matières Organiques (MO) caractéristiques du charbonnage, un site de charbonnage abandonné depuis 50 ans est également étudié. Les matières organiques pédologiques sont étudiées avec des méthodes classiques incluant la pyrolyse Rock-Eval, la spectrométrie DRIFT (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform), la caractérisation des extraits à l'eau notamment par chromatographie d'exclusion. Le contenu en HAP a également été analysé. Hormis la présence attendue de micro-charbons et de black carbone, la fraction extraite à l'eau révèle une différenciation des produits selon les horizons juste après la cuite. On observe également une migration de composés depuis les horizons supérieurs vers les horizons profonds après l'arrêt de la charbonnière. Les profils HAP des sols sont en accord avec ceux décrits dans la littérature dans des sols ayant subi un incendie forestier.

Evaluation de l'impact environnemental de l'épandage de lisier de porc par une approche multi-échelle.

S. Legros¹, E. Doelsch^{2*}, P. Chaurand³, A. Masion³, J. Rose³, F. Feder¹, J. Sansoulet¹, J-P. Gaudet⁴, O. Proux⁵, J-L. Hazemann⁶, V. Briois⁷, H. Saint-Macary¹ and J-Y. Bottero³

¹CIRAD, Environmental Risks of Recycling Research Unit, Station de la Bretagne, BP 20, Saint-Denis Messagerie Cedex 9, La Réunion, F-97408 France.

²CIRAD, Environmental Risks of Recycling Research Unit, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, Aix-en-Provence Cedex 04, F-13545 France.

³CEREGE, CNRS, Université Aix Marseille, IRD, Collège de France, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, Aix-en-Provence Cedex 04, F-13545 France.

⁴LTHE, Maison des géosciences, Domaine Universitaire, 1381 rue de la Piscine, Saint Martin d'Hères F-38400 France.

⁵CNRS, OSUG, 414 rue de la piscine 38400 St Martin d'Hères, France.

⁶ Institut Néel, CNRS et Université Joseph Fourier, BP 166, F-38042 Grenoble Cedex 9, France.

⁷Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint-Aubin - BP 48, Gif-sur-Yvette F-91192.

Selon la FAO, la production mondiale de porcs est en 2003 d'environ 955,5 millions d'animaux et l'on estime sa progression à +15 % à l'échéance de 2012. Un élevage naisseur-engraisseur de 100 truies présentes produit entre 1656 et 2032 m³ de lisier par an. Ainsi, le lisier de porc est un déchet agricole produit en grande quantité pour lequel il convient de trouver des solutions de recyclage. L'épandage de lisier de porc sur les terres cultivées est la pratique la plus courante. En effet, le lisier de porc constitue une source d'éléments fertilisants avec notamment de forte concentration en azote, phosphates, et potassium. Cependant, le lisier de porc est également riche en éléments traces métalliques cuivre (Cu) et zinc (Zn) qui sont ajoutés aux rations alimentaires pour leurs propriétés vétérinaires. Bien qu'ils peuvent contribuer utilement à la fertilisation des cultures, ils présentent également des risques pour l'environnement. En effet, les éléments traces métalliques peuvent être toxiques pour les animaux et les végétaux et l'apport d'éléments traces métalliques dans le sol entraîne des risques de contamination des végétaux et des risques de lessivage vers les nappes phréatiques.

Afin d'étudier le comportement de Cu et Zn suite à l'épandage de lisier de porc, nous avons adopté une approche multi-échelle. A l'échelle de la parcelle expérimentale, nous avons choisi : (i) de suivre au cours du temps la composition de la solution du sol afin de quantifier les flux de Cu et Zn solubles, (ii) de quantifier l'accumulation de Cu et Zn dans le sol suite à l'épandage de lisier de porc, (iii) de quantifier le prélèvement de Cu et Zn par le couvert végétal (trainasse *Osterdamia pungens*). A l'échelle moléculaire, nous avons étudié la spéciation de Cu et Zn en couplant plusieurs techniques analytiques (MEB, μ -XRF, EXAFS-XANES, etc.)

Les concentrations en Cu et Zn de la solution du sol ont été mesurées pendant 2 ans suite à l'épandage intensif de lisier de porc. Ces concentrations sont toujours restées très faibles (50 and 240 $\mu\text{g.l}^{-1}$ respectivement) et comparables à celles mesurées sur la parcelle témoin. Ceci souligne la très faible mobilité de ces deux éléments. Cette observation a été confirmée par l'accumulation de Cu et Zn dans le sol de la parcelle Lisier par rapport aux concentrations mesurées dans la parcelle témoin. Par ailleurs, le prélèvement de Cu et Zn par la trainasse est négligeable.

Afin de comprendre les facteurs qui gouvernent l'accumulation de Cu et Zn dans le sol, nous nous sommes orientés vers l'étude de la spéciation de ces deux éléments dans le lisier de porc. Comme le lisier de porc est une matrice complexe, nous avons réalisé un fractionnement granulométrique préalablement aux analyses. La majorité de Cu et Zn (respectivement 78 et 75 % de la concentration totale) est retrouvée dans la fraction granulométrique comprise entre 0,45 et 20 μm . Le premier résultat inattendu a concerné le degré d'oxydation du cuivre dans le lisier : Cu(I). De plus, grâce à la similitude entre le signal enregistré pour un lisier de porc et certaines références minérales sulfurées, nous avons pu montrer que Cu est localement entouré par des atomes de S. La spéciation de Zn dans un lisier de porc peut-être décrite sur la base de 3 composantes : 41% de Zn lié à la matière organique, 39% d'hydroxyde de Zn et 20% de sulfure de Zn. Nous montrerons enfin que l'étude fine de la spéciation de Cu et Zn dans les lisiers de porc permet de comprendre les résultats obtenus à l'échelle de la parcelle expérimentale.

Influence de la matière organique hydrophile sur la spéciation et la biodisponibilité du cuivre et du mercure dans les cours d'eau urbanisés : le cas de la Seine

Gilles Varrault^a, Benoît Pernet-Coudrier^a, Bogdan Muresan^a, Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin^b et Jean-Marie Mouchel^c

^aUniversité Paris-Est, CERREVE, 61 av. du Gal de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France

^bCEMAGREF – Unité QHAN, Parc de Tourvoie, BP 44, 92163 Antony Cedex, France

^cSISYPHE, Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

Dans les systèmes aquatiques, la matière organique dissoute (MOD) joue un rôle majeur dans les cycles biogéochimiques des métaux [1, 2]. La plupart des études portant sur les interactions entre la MOD et les métaux ne traitent cependant que du cas des substances dites humiques (la fraction la plus hydrophobe de la MOD). Or dans les cours d'eau urbanisés, cette fraction hydrophobe de la MOD représente moins de 50% du carbone organique dissous (COD), la fraction hydrophile pouvant alors représenter près de 40% du COD [3]. En raison de l'isolation très difficile de la fraction hydrophile de la MOD, très peu d'informations sont disponibles concernant sa composition et son influence sur la spéciation, la biodisponibilité et la toxicité des métaux en particulier dans les cours d'eau urbanisés.

Dans ce travail, la MOD a été isolée à six reprises aussi bien à l'aval et à l'amont de l'agglomération parisienne que dans les effluents de la station d'épuration (STEP) Seine-Aval (traitant 70% des eaux usées de l'agglomération parisienne) et a été fractionnée selon des critères de polarité (par passage sur des résines DAX-8 et XAD-4 placées en série) en trois fractions : hydrophobe, transphilique et hydrophile. La purification de la fraction hydrophile (la MOD non retenue par les résines) a été réalisée par une succession de distillation zéotrophique [4]. La teneur en cendres est inférieure à 10 % pour toutes les fractions hydrophiles obtenues. Pour toutes les fractions isolées, les constantes et capacités de complexation du cuivre et du mercure ont été déterminées par titration chimique et modélisation. L'influence de ces fractions sur la biodisponibilité du cuivre a été évaluée à l'aide de deux biotests de toxicité (*Daphnia magna*) et de bioaccumulation (*Fontinalis antipyretica*).

En raison des rejets importants des STEP, un fort enrichissement en MOD hydrophile a été observé à l'aval de l'agglomération parisienne [3]. Cette fraction hydrophile se caractérise par une teneur importante en structures protéiniques induisant une diversité et un nombre élevé de groupements fonctionnels. Elle présente en outre une affinité plus forte pour complexer le cuivre et le mercure que (i) les fractions hydrophobes provenant de sites moins urbanisés (amont de Paris) et que (ii) les acides fulviques de la rivière Suwannee (IHSS). Ce fort pouvoir complexant est corrélé aux teneurs plus importantes en groupements azotés et sulfurés (observés en IRTF et fluorescence). En outre, les biotests réalisés mettent en évidence une diminution significative de la biodisponibilité du cuivre en présence de MOD hydrophile partiellement expliquée par le modèle de l'ion libre.

1- Buffle J. (1988). "Complexation reactions in aquatic systems : an analytical approach". Masson M. and Tyson J. F., Ellis Horwood, New York, 692p.

2- Tessier A. and Turner D. R. (1995). "Metal speciation and bioavailability in aquatic systems". Buffle J. and Van Leeuwen H. P., John Wiley & sons, Chichester, 679p.

3- Pernet-coudrier B., Clouzot L., Varrault G., Tusseau-Vuillemin M.-H., Verger A. and Mouchel J.-M. (2008). Dissolved organic matter from treated effluent of a major wastewater treatment plant: Characterization and influence on copper toxicity Chemosphere 73 (4), 593-599.

4- Croué, J.F., 2004. Isolation of humic and non-humic NOM fractions: structural characterization. Environ. Monit. Asses. 92, 193–207.

Session 3

Posters

La matière Organique naturelle de Surface (Problématiques et caractérisation : cas du barrage Sidi Mohammed ben Abdellah (Maroc)

A. AMEZGHAL⁽¹⁾, M. HALIM⁽¹⁾, A. MAAROUFI⁽¹⁾, M. ASSAFI⁽²⁾, M. EL MGHARI TABIB⁽²⁾,

(1) Laboratoire : Matériaux Composites, Polymères and Environnement, département de chimie, Faculté des Sciences, Mohammed V-Agdal Université, Av. Ibn Batouta, 1014, Agdal, Rabat, Maroc

(2) Office National de l'Eau Potable, Station de Traitement ONEP, Av. Mohamed Belhassan El ouazzani, Rabat- Maroc.

Tél/Fax 00 (212) 37 77 54 40

E-mail: halim@fsr.ac.ma

Cette étude porte sur la caractérisation de la matière organique dissoute du barrage Sidi Mohamed ben Abdellah (Maroc). Cette retenue se trouve dans une région aride et semi aride. Outre les outils analytiques généralement utilisés dans ce type d'approche, carbone organique dissous, carbone organique total et absorbance dans l'ultraviolet à 254nm, le travail de recherche, s'appuie sur la mise en œuvre d'une méthode de fractionnement du COD sur résines XAD-8 et XAD-4 utilisées en séries. Dans notre cas les eaux ne sont pas riches en matière organique dissoute ($2 \text{ mg/l} < \text{COD} < 3 \text{ mg/l}$). Trois fractions sont obtenues par cette méthode : les substances hydrophobes (substances humiques), les substances hydrophiliques et les substances hydrophiles non adsorbées. Néanmoins, il est intéressant de noter que la matière organique hydrophobe est proportionnellement plus abondante dans les eaux de retenue (42% du COD). En contre partie, les composés hydrophiles non adsorbés sur résines XAD représentent une fraction de l'ordre de 23.4%. Les eaux de retenue présentent, dans ce sens, des réactivités vis-à-vis des oxydants plus fortes.

Le goût et l'odeur des problèmes sont habituellement causés par la présence de traces de composés organiques dans l'eau. Pour extraire et analyser ces substances odorantes dans l'eau, la technique CLSA demeure la plus utilisée. L'autre partie du travail consiste à suivre les produits qui génèrent l'odeur et le goût dans les eaux de la retenue. Qualitativement, ils sont classés en dérivés benzoïques, alcanes et terpènes.

Effet du pH rhizosphérique sur la disponibilité des HAP

Christophe Barnier^a, Stéphanie Ouvrard^a, Christophe Robin^b, Jean Louis Morel^a

^a *Laboratoire Sols et Environnement, Nancy-Université, INRA,
2 avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy*

^b *Laboratoire Agronomie et Environnement, Nancy-Université, INRA,
2 avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy*

Les polluants organiques tels que les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), fréquemment rencontrés dans les sols de friches industrielles, posent un problème environnemental du fait de leur ubiquité, leur toxicité et leur persistance. La forte rémanence de cette matière organique anthropique dans le sol, conséquence de sa faible disponibilité, amène à s'interroger sur son devenir sur le long terme. La compréhension de son évolution et des paramètres qui contrôlent sa disponibilité doivent alors apporter des informations sur l'efficacité des traitements (biologiques ou physico-chimiques) mais aussi la gestion post-traitement des terres et des pollutions résiduelles.

Les HAP, du fait de leur forte hydrophobicité, sont fortement associés à la matière organique du sol par des processus d'adsorption et/ou de séquestration. Cet état non disponible des HAP est le principal frein à leur dégradation par la biomasse microbienne du sol. Les plantes sont connues pour modifier les propriétés physico-chimiques du sol situé à proximité immédiate de leur racine, la rhizosphère. Parmi ces paramètres modifiés, le pH est un facteur particulièrement sensible dont la valeur peut augmenter ou diminuer de près de deux unités dans la rhizosphère suivant, entre autre, l'espèce végétale considérée, la nature du sol, les formes minérales de l'azote.

Ce travail étudie l'effet du pH du sol sur la disponibilité des HAP. Nous avons sélectionné trois sols de friches industrielles ayant une contamination ancienne et élevée en HAP. Pour chacun d'eux, nous avons évalué la disponibilité des HAP avant et après modification du pH par l'ajout d'acide ou de base minéral à des suspensions de sol. La disponibilité a été évaluée en utilisant la méthode par adsorption sur résine Tenax. Les résultats montrent un effet pH dépendant du sol considéré. Dans deux des sols étudiés, l'alcalinisation du milieu induit une augmentation de la disponibilité des HAP, résultats en accord avec ceux de la littérature, obtenus sur des sols à contaminations récentes. Dans le troisième sol, l'effet pH est inverse et une augmentation du pH induit une diminution de la disponibilité des HAP. Dans tous les cas, les variations de disponibilité restent assez faibles et la fraction disponible représente une faible part des HAP. Ces résultats montrent que la matière organique des sols de friches, essentiellement d'origine anthropique, est stable et peu sensible à une variation de pH. La variation de pH induite par un couvert végétal n'apparaît donc pas être un facteur suffisant pour favoriser la disponibilité des HAP et ainsi améliorer leur biodégradation.

Réactivité physico-chimique de la matière organique dissoute et conséquences sur la dynamique de pesticides dans les sols

Barriuso E., Houot S., Benoit P.

INRA-AgroParisTech, UMR Environnement et Grandes Cultures, F-78850 Thiverval-Grignon;

e-mail : barriuso@grignon.inra.fr

La matière organique dissoute (MOD) et/ou colloïdale constitue une fraction particulièrement importante en raison de ses propriétés physico-chimiques (polarité, faible encombrement moléculaire, multifonctionnalité chimique, mobilité dans les sols) et biologiques (labilité, biodégradabilité). En général, la MOD représente une faible proportion de la matière organique du sol. Mais dans certaines conditions (contexte pédogénétique acide, incorporation de résidus végétaux ou d'amendements organiques), la concentration en MOD peut devenir importante, pouvant provoquer des modifications dans la redistribution du C dans les profils de sol et dans le comportement et la réactivité d'autres constituants ou éléments présents dans le sol. Ces modifications sont regardées dans cette communication au travers des modifications de la dynamique des pesticides dans le sol. Les interactions entre la MOD et les pesticides, et les conséquences d'un point de vue des modifications de phénomènes de rétention (adsorption / désorption) sont utilisées comme révélateurs de la réactivité physico-chimique de cette MOD. Cela est fait grâce au couplage d'une approche expérimentale permettant l'acquisition de données d'adsorption et de désorption d'une série de pesticides en présence ou non de MOD et d'une approche simplifiée de modélisation à l'équilibre basée sur le découplage des interactions susceptibles de s'établir dans le système sol – MOD – pesticides.

En opposition avec les données fréquemment retrouvées dans la littérature, le choix des pesticides s'est focalisé sur des molécules relativement polaires. Ainsi, une série de pesticides de polarité croissante (depuis des molécules hydrophobes – trifluraline, jusqu'à des bases faibles – amitrole, ou acides faibles – 2,4-D) a été retenue. La MOD provient d'extraits aqueux de composts. L'obtention des MOD avec des propriétés différentes (niveau de concentration, polarité, encombrement moléculaire, composition chimique) à partir d'un même substrat a été possible grâce à l'utilisation de températures et pressions différentes, restant toujours à l'état liquide dans le domaine sub-critique.

Des expériences d'adsorption et de désorption de pesticides préalablement adsorbés sur un sol ont été réalisées. Dans tous les cas, il a été montré que la désorption des pesticides est très dépendante de leur adsorption. Quand l'adsorption est relativement faible (avec des coefficients d'adsorption rapportés à la teneur en carbone organique du sol – $K_{oc} \leq 50 \text{ L kg}^{-1}$), la désorption des pesticides adsorbés est plus efficace en absence de MOD. En revanche, pour les pesticides adsorbés avec des $K_{oc} \geq 50 \text{ L kg}^{-1}$, la présence de MOD favorise leur désorption, donc leur mobilité dans le sol. Le comportement des MOD est très dépendant de leurs propriétés, qui sont ici abordées au travers des techniques d'extraction utilisées (température d'extraction). Ainsi, la mise en contact des extraits de MOD avec le sol, provoque l'adsorption d'une proportion variable de cette MOD. Cette adsorption implique une sélection de composés constituant la MOD, en fonction de leur affinité pour les constituants solides du sol. Cette adsorption modifie les propriétés de surface des solides, provoquant en général une augmentation de l'adsorption des pesticides ou une diminution de leur désorption. La complexité des interactions mises en jeu est difficile à appréhender expérimentalement. Une approche de modélisation a été développée décrivant séparément chaque interaction supposée dans le système tripartite sol – MOD – pesticides. Il est ainsi possible de remonter par modélisation inverse à l'estimation des constantes d'interaction en solution entre la MOD et les pesticides. L'intérêt de cette approche est d'estimer ces constantes dans un système hétérogène, en présence d'une phase solide. Nous avons ainsi mis en évidence que la part de MOD non adsorbée, donc la plus hydrophile, est capable d'établir les interactions les plus importantes avec un des pesticides les plus polaires étudiés (l'amitrole – base faible). Dans ce système, quand l'hydrophobicité des pesticides augmente, la valeur des constantes d'interaction entre ces pesticides et la part de MOD restant en solution iminue. Cette conclusion est en contradiction apparente avec les résultats de la littérature dans lesquelles sont considérés des systèmes homogènes en solution. La méthode utilisée propose donc une approche plus réaliste d'estimation des constantes d'interaction en solution en présence de sol.

Stabilité de la matière organique de sols de cokerie

Evolution du sol de la cokerie de Homécourt et de ses matériaux constitutifs isolés au cours d'oxydations expérimentales

Coralie Biache, Laurence Mansuy-Huault, Pierre Faure et Raymond Michels

G2R UMR 7566, Nancy Université, CNRS, Boulevard des Aiguillettes B.P. 239, F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy, France

La cessation progressive des activités houillères et sidérurgiques depuis les années soixante-dix dans le Nord et l'Est de la France, et particulièrement en Lorraine, a été à l'origine d'un nombre croissant de friches industrielles fortement contaminées. Parmi ces friches industrielles figurent les sites ayant abrités des cokeries qui héritent de sols contaminés à la fois par des éléments métalliques et par des micropolluants organiques tels que les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Les sols de cokerie sont constitués de différents matériaux de construction ainsi que de phases organiques très variées, ce qui leur confère une grande hétérogénéité et une grande complexité. Charbon, coke, goudron de houille, bitume routier et, en moindre proportion, matière organique naturelle, comptent parmi ces diverses matrices organiques. Afin de mieux comprendre la réactivité du compartiment organique des sols de cokerie et son évolution dans un contexte d'atténuation naturelle, il est inévitable de déconvoluer la complexité du milieu en travaillant sur des constituants organiques majeurs isolés.

L'objectif de ce travail est (i) de relier les caractéristiques du compartiment organique d'un sol de cokerie dans son intégralité à celles de diverses phases organiques constitutives isolées, et (ii) d'évaluer l'impact d'une oxydation artificielle simulant une oxydation naturelle accélérée, sur ces différentes matrices.

Un sol de la fiche industrielle de Homécourt (Meurthe et Moselle, France) représentatif de la complexité des sols d'anciennes cokeries ainsi que ses constituants organiques majeurs (charbon, coke, goudron de houille et bitume routier) ont été dans un premier temps caractérisés de façon exhaustive incluant notamment une quantification des différentes molécules présentes dans les fractions organiques.

Ces différentes matrices et le sol de Homécourt ont été ensuite oxydés en étuve ventilée à 100°C pendant 2, 4 et 6 mois pour étudier l'évolution des caractéristiques chimiques des constituants organiques. La minéralisation a été suivie par le biais du dosage régulier du dégagement de CO₂. La fraction organique extractible au solvant et le résiduel des différentes matrices et du sol de Homécourt ont été caractérisés par des analyses moléculaires et pyrolytiques (Rock-Eval).

L'analyse concernant les matériaux de départ montre des caractéristiques très variées selon les matrices. Pour certains paramètres, comme les proportions de maltènes et d'asphaltènes, ou encore les quantités d'hydrocarbures aliphatiques, aromatiques et de composés polaires, le sol de cokerie est comparable à l'échantillon de charbon. Cependant, à l'échelle moléculaire, la corrélation entre goudron de houille et sol de cokerie semble plus évidente.

Au cours des expériences d'oxydation, les matrices évoluent de façon différente, même si pour certains paramètres, les mêmes tendances sont observées. Au bout de deux mois d'oxydation, une diminution du taux d'extrait ainsi que des teneurs en HAP est constatée, quel que soit l'échantillon. Cette évolution suggère qu'une atténuation naturelle sur de telles matrices organiques semble effective. Toutefois, au-delà de 2 mois d'oxydation, de nombreux paramètres, dont les teneurs en HAP, ne semblent plus évoluer suggérant une stabilisation du compartiment organique.

Rôle des matières organiques particulières de composts d'origine urbaine et de sols amendés par ces produits dans la rétention de contaminants

Cambier P., Houot S., Benoît P., Bodineau G., Deschamps M., Etievant V., Rampon J.-N., Petraud J.-P.¹, Proix N.², Caria G.², Francou C.³, Poitrenaud M.³

UMR INRA-AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures, 78850, Thiverval-Grignon ;

¹ UR INRA PESSAC, 78000, Versailles ; ² Laboratoire d'Analyses des Sols INRA, 62000, Arras ;

³ VEOLIA Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté et l'Energie, F-78520 Limay, France

Dans le cadre d'un programme visant à mettre au point des indicateurs d'effets du recyclage agricole de produits résiduels organiques (PRO) et des indicateurs d'exposition, des fractionnements granulométriques ont été effectués et des matières organiques particulières (MOP) obtenues à partir :

- de composts d'ordures ménagères résiduelles (OMR, fraction résiduelle des ordures ménagères après tri sélectif des emballages) et de co-composts de déchets verts et de boues de station d'épuration (DVB),
- d'horizons de labour de parcelles du site atelier QualiAgro, essai au champ de longue durée mis en place pour étudier les effets d'apports répétés de PRO.

L'objectif était l'acquisition de données sur la localisation et l'accumulation éventuelle de contaminants dans des fractions attirant *a priori* des organismes du sol, puis de mettre en parallèle les variations de ces indicateurs d'exposition et celles d'effets sur la microflore et la faune du sol.

MATERIEL et METHODES

L'essai s'étend sur une parcelle de 6 ha, conduite en grandes cultures, reposant sur un sol limoneux lessivé décarbonaté. Les traitements considérés dans ce travail incluent les composts OMR et DVB, et les 2 contrôles, correspondant à 2 niveaux de fertilisation azotée minérale. Les données présentées concernent les composts épandus en 2004, prélevés, fractionnés et analysés en 3 répétitions, et les sols prélevés à plusieurs dates dans les horizons labourés de 3 répétitions (sous-parcelles) de chacun des 4 traitements. Les contaminants incluent 6 éléments-traces et 16 HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

RESULTATS

Composts : les MOP 5mm-50µm représentent en masse environ 24 et 30%, respectivement, des composts OMR et DVB totaux. Ces MOP puis les fractions organominérales < 50 µm concentrent relativement certains contaminants tels que Cu, Cd, Zn, les HAP pyrène et chrysène surtout dans le compost DVB, le phénanthrène plutôt dans le compost OMR. En termes de contribution au contenu total dans le compost, 35 à 37% des métaux Cd, Cu ou Zn et 47% de la somme des HAP se trouvent dans les MOP 5mm-50µm obtenues à partir du compost OMR (respectivement 29 à 34% des mêmes métaux et 34% des HAP pour le compost DVB). On trouve par ailleurs une contribution majeure des fractions denses (minérales) 5mm-50µm aux teneurs totales dans le compost OMR pour les contaminants Cr (71%) et Pb (62%).

Horizons de labours : Les MOP des sols représentent 1 à 2% de la masse totale. Ce pourcentage est significativement supérieur pour la parcelle DVB et cette différence persiste entre deux épandages. Les teneurs de nombreux contaminants sont nettement plus élevées dans les MOP que dans les autres fractions, et les MOP des parcelles composts sont enrichies par rapport aux MOP des témoins en Cu et Zn (entre +50 et +80%), et en Cd dans le cas DVB (+70%). La teneur en Cu des MOP double quasiment avec l'apport de composts, ce qui représente une amplification de l'impact chimique des composts. On n'observe par contre aucun impact au niveau des teneurs en HAP des MOP, qui varient beaucoup d'une parcelle à l'autre. On trouve une nette augmentation des teneurs en Cr et Pb des fractions grossières denses dans les parcelles amendées en compost OMR par rapport aux autres traitements.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Que l'on considère les données relatives à un contaminant particulier, ou l'ensemble des données par analyse en composantes principales, les MOP des sols, et dans une moindre mesure les fractions grossières denses, discriminent beaucoup mieux les modalités de l'essai que les teneurs totales dans les sols. On met en évidence la persistance de ces fractions et de leurs propriétés d'accumulation relative de certains contaminants dans les sols récepteurs, bien que les MOP issues du sol et des cultures s'ajoutent nécessairement aux MOP apportées par les composts. La contribution des MOP au contenu total des contaminants est bien plus faible dans les sols que dans les produits résiduels organiques mais n'est pas négligeable. Par ailleurs, nous n'avons mis en évidence aucun effet biologique délétère des amendements organiques et donc aucun lien entre les bioindicateurs utilisés et nos indicateurs d'impact chimique.

Hétérogénéité spatiale de la disponibilité de différents HAP à l'échelle du profil cultural suite à l'incorporation de composts d'origine urbaine

M. Deschamps¹, P. Benoit¹, N. Bernet¹, M. Le Villio-Poitrenaud², S. Houot¹

¹UMR INRA – AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon

²VEOLIA Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté et l'Energie, 78520 Limay, France

Le recyclage en agriculture de produits résiduels organiques (PRO) tels que les composts d'origine urbaine est une voie de traitement qui permet la valorisation de ces déchets en tant qu'amendements organiques ou fertilisants. Ces apports de matières organiques exogènes sont susceptibles d'apporter dans les sols agricoles des contaminants traces organiques en particulier des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Compte tenu des faibles concentrations apportées par rapport aux teneurs déjà présentes dans les sols, une difficulté d'ordre méthodologique est posée pour évaluer *in situ* les effets d'éventuelles modifications de teneur et de disponibilité des HAP dans des sols recevant des PRO.

Ce travail repose sur l'utilisation du site atelier QualiAgro (Feucherolles, 78, collaboration Veolia Environnement R&D) suivi depuis 1998, comprenant une série de parcelles cultivées selon une rotation blé-maïs, où différents produits résiduels organiques sont appliqués tous les deux ans. En complément du suivi pluriannuel des concentrations totales en HAP dans l'horizon superficiel, nous avons cherché à évaluer l'effet d'un apport de compost sur des modifications éventuelles de leur disponibilité. Ceci a été réalisé d'une part en évaluant la disponibilité de différents HAP dans les composts enfouis et d'autre part en cherchant ces mêmes formes dans le sol, en faisant l'hypothèse que l'hétérogénéité de la répartition spatiale des composts enfouis avait localement des conséquences sur la disponibilité des HAP. Pour ce faire, trois parcelles du dispositif QualiAgro ont été retenues : une parcelle témoin ne recevant pas de composts, une parcelle recevant un compost de déchets verts et boues (DVB) et une parcelle recevant un compost d'ordures ménagères résiduelles (OMR). Trois mois après épandage des composts et un mois et demi après labour, quatre zones ont été échantillonnées dans l'horizon travaillé de chaque parcelle. La disponibilité des HAP a été déterminée dans deux de ces zones : l'interbande, riche en résidus végétaux et en composts, partie correspondant à l'ancienne surface, située entre deux bandes de terre adjacentes retournées par la charrue et la semelle de labour, plus ou moins continue, non retournée et tassée, plus pauvre en carbone organique.

Un développement méthodologique a été réalisé pour évaluer la disponibilité des 16 HAP dans les composts et les sols¹. Les HAP sont extraits avec de l'eau chaude sous pression (extracteur ASE) puis concentrés et purifiés par SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction) avant analyse par chromatographie liquide. Dans l'extrait qui correspond à la fraction la plus disponible (extrait à 50°C), les proportions de HAP des sols représentent moins de 2% des teneurs totales et celles des composts moins de 5% des teneurs totales, lesquelles varient entre 0,1 et 100 µg/kg dans les sols et entre 5 et 670 µg/kg MS dans les composts. Il n'y a pas de différences significatives de teneurs totales en HAP entre différentes zones d'un même profil. Dans l'extrait à 50°C, pour les sols, les HAP en concentrations les plus élevées sont le phénanthrène, fluoranthène et pyrène (de 0,009 à 0,18 µg/kg de sol). Pour les composts, ces mêmes HAP (plus le fluorène dans le compost OMR) sont également présents aux concentrations les plus élevées (de 0,3 à 2,1 µg/kg de compost OMR et de 1,6 à 3,5 µg/kg de compost DVB). L'extraction à 125°C (eau subcritique) est relativement discriminante entre les zones semelle de labour et interbande, montrant une plus grande disponibilité des HAP dans la semelle de labour. Les extractions totales de HAP des deux zones du sol et des composts montrent que les HAP majoritaires sont le phénanthrène, fluoranthène, pyrène, chrysène, benzo(b)fluoranthène benzo(ghi)pérylène et indéno(1,2,3)pyrène.

¹ Cf communication Deschamps *et al.* Mise au point de la quantification des HAP contenus dans des extraits aqueux de sols et de produits résiduels organiques

Association matière organique et métaux lourds dans un lixiviat de sédiment contaminé d'un bassin d'infiltration

Bertrand Durin¹, Philippe Le Coustumer², Björn Stolpe³, Béatrice Béchet¹, Michel Legret¹ et Pierre Le Cloirec⁴

¹ *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes –* ² *UFR Sciences de la Terre et de la Mer, Université de Bordeaux-* ³ *Université de Göteborg, Suède-*

⁴ *École supérieure de chimie de Rennes*

Auteur correspondant : beatrice.bechet@lcpc.fr

L'utilisation de bassins de rétention-infiltration pour abattre la pollution particulaire des eaux de ruissellement et recharger les nappes est en usage depuis plus de vingt ans [1]. Cependant, si les sédiments de fond de bassin présentent une contamination inorganique en métaux trace et organique avérée, il est important d'évaluer le risque associé à l'infiltration des eaux pour les ressources en eau souterraine [2, 3]. Le maintien de la viabilité hivernale nécessite l'épandage de sels déverglaçant sur les routes, composés majoritairement de NaCl. L'impact de la variation de salinité des eaux d'infiltration sur la mobilisation globale des polluants métalliques a été mis en évidence [4, 5, 6], mais peu de travaux portent sur la caractérisation de la spéciation physique de ces polluants et en particulier sur la nature des phases porteuses colloïdales [7]. Cette étude s'attache, par différentes méthodes d'imagerie (MEB et MET) et de spectroscopie (FFF-ICP-MS et XPS) à caractériser le matériel colloïdal présent dans un lixiviat de sédiment contaminé d'un bassin d'infiltration d'eaux de ruissellement en zone péri-urbaine. Le sédiment a été lixivié alternativement avec du NaCl à forte et faible concentration pour simuler les épisodes de salage en période hivernale. Un fractionnement en cascade sur filtres et membranes a été réalisé sur l'éluat brut. Chaque fraction a été analysée par rapport aux concentrations en éléments majeurs, éléments trace et carbone organique total. L'absorbance UV a été mesurée sur les échantillons à différentes longueurs d'onde. La présence conjointe d'acides humiques et fulviques et de fortes concentrations en Zn, Cu et Pb a ainsi été mise en évidence. Les observations par imagerie et les analyses spectroscopiques ont montré que Pb était fortement lié à des fractions particulières. Les autres métaux tels que Cd, Cr, Cu et Zn sont portés par des colloïdes de nature variée (matière organique, oxyhydroxydes métalliques). La distribution de taille des colloïdes, typiquement oxydes d'aluminium, silicates et substances humiques, a aussi pu être déterminée (FFF-MS) et ils apparaissent distribués selon trois modes majeurs : 25, 100 et 800 nm.

Références

- [1] P. Wigington Jr., C. Randall, and T. Grizzard, Accumulation of selected trace metals in soils of urban runoff detention basins, *Water Resources, Bulletin* 19 (1983), no. 5, 709–718.
- [2] Y. A. Yousef, L. Y. Lin, W. Lindeman, and T. Hvitved-Jacobsen, Transport of heavy metals through accumulated sediments in wet ponds, *The Science of The Total Environment* 146-147 (1994), 485–491.
- [3] C. Durand, V. Ruban, and A. Amblès, Mobility of trace metals in retention pond sediment, *Environmental Technology* 8 (2004), no. 25, 881–888.
- [4] C. Amrhein, P.A. Mosher, and J.E. Strong, Colloid-assisted transport of trace metals in roadside soils receiving deicing salts, *Soil Science Society of America Journal* 57 (1993), 1212–1217.
- [5] P.K. Lee, J.C. Touray, and P. Baillif, Geochemical behaviour and relative mobility of metals (Mn, Cd, Zn and Pb) in recent sediments of retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *Environmental Geology* 32 (2) (1997), 142–152.
- [6] A. C. Norrström, Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff, *Applied Geochemistry* 20 (2005), no. 10, 1907 – 1919.
- [7] M. Baalousha, M. Motelica-Heino, M. Baborowski, C. Hofmeister, P. Coustumer, Size based speciation of natural colloidal particles by Flow Field Flow Fractionation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy-Transmission Electron Microscopy/X-Energy Dispersive Spectroscopy: colloids-trace element interaction, *Environ. Sci. Technol.*, 40 (7), 2156 -2162, 2006.

Rôle de la dégradation de la matière organique particulaire sur la dynamique des contaminants métalliques en milieu aquatique: étude expérimentale

¹Gonzalez J-L., ²Boutier B. et ²Auger D.

IFREMER. Département "Biogéochimie et Ecotoxicologie"

⁽¹⁾ Z.P. de Brégaillon, BP 330, 83507 La Seyne/mer cedex (Jean.Louis.Gonzalez@ifremer.fr)

⁽²⁾ Rue de l'Île d'Yeu, BP 21105, 44311 Nantes cedex

Résumé

En milieu aquatique, une partie non négligeable des contaminants métalliques sous forme dissoute peut être issue des processus de dégradation de la matière organique associée aux particules.

Afin de pouvoir préciser le lien "quantitatif" entre les contaminants métalliques et la matière organique (MO) à laquelle ils peuvent être associés, un protocole expérimental a été utilisé dans le but de déterminer s'il existe une relation stoechiométrique entre la matière organique particulaire "dégradable" et la quantité de contaminant qui est solubilisée lors de la dégradation (dans les sédiments, dans le bouchon vaseux) du substrat organique, et s'il est possible de l'évaluer.

L'approche expérimentale choisie a été de suivre en conditions "contrôlées" (T°, agitation), l'évolution temporelle conjointe des concentrations de paramètres "marqueurs" de la dégradation de la matière organique (composés de N, P) et des concentrations en contaminant "solubilisé". Cette méthode pourrait permettre, dans un premier temps, de déterminer s'il y a une relation stoechiométrique (MO particulaire / contaminant), puis de savoir si cette méthodologie permettra de suivre la cinétique de dégradation (estimation des constantes "rapides" "lentes") et d'évaluer à quelles étapes est associée la solubilisation du contaminant.

Différents prélèvements (eau filtrée, particules) ont été réalisés dans l'estuaire de la Seine. Deux types d'échantillons ont été mis à "incuber" de retour au laboratoire : de l'eau non filtrée prélevée "à l'entrée de l'estuaire" (en amont du barrage de Poses) et des particules "fraîches" prélevées sur la vaseuse ont été mises en suspension dans de l'eau de mer filtrée à 0.2 µm. L'expérience "d'incubation" a duré une trentaine de jours. Les métaux qui ont été mesurés (sous forme dissoute et particulaire) sont : Cd, Pb, Ni, Zn, Fe et Mn

Les expérimentations ont permis de mettre en évidence l'existence de processus de solubilisation plus ou moins importants en fonction des éléments, du type d'expérience et de l'origine de particules. La cinétique de ces processus a pu être évaluée et des relations entre la quantité de C dégradé et celle de métal solubilisé ont été quantifiées.

Pour certains éléments métalliques comme Cd, les processus de solubilisation associés à la dégradation de la matière organique en conditions oxydantes pourraient avoir une importance non négligeable en tant que source de contaminant sous forme dissoute. Cette importance peut être évaluée, grâce à la modélisation, à l'échelle de l'estuaire par rapport à d'autres processus. Les données obtenues sont directement utilisables par la modélisation pour tester cette importance

Mots clés : estuaire, dégradation matière organique particulaire, solubilisation métaux traces, relation stoechiométrique, expérimentation.

Les stérols: marqueurs de l'impact des pratiques d'épandage de déjections animales sur la composition chimique des sols.

Emilie Jardé¹, Gérard Gruau¹, Anne-Catherine Pierson-Wickmann¹ et Anne Jaffrezic²

⁽¹⁾ *CAREN, CNRS-Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex*

⁽²⁾ *CAREN, UMR SAS INRA, 65, Rue de St-Brieuc, CS 84215, 35042 Rennes cedex.*

La Bretagne, une des premières régions agricoles de France, produit annuellement 35 Mt de déjections animales par an. Répartie sur la surface agricole utile bretonne, cette MO correspond à un flux spécifique moyen de 300 kg de MO par hectare et par an. Les déjections animales sont recyclées en agriculture en raison de leur valeur fertilisante liée à leur contenu en macro et micronutriments (N, P, K et Mg). Cependant, l'épandage des déjections animales peut augmenter les transferts de MO des sols vers les eaux. D'autre part, les déjections animales peuvent être riches en contaminants organiques et/ou métalliques ou pathogènes qui pourront alors migrer vers les eaux une fois les déjections épandues en agriculture. Afin de mieux appréhender les impacts des épandages de déjections animales sur la composition chimique des sols agricoles, trois sites expérimentaux bretons ont été étudiés. Sur les parcelles de sols de ces sites, différents types de déjections animales (lisier de porc, fumier de volaille, fumier de vache) ont été épandus à différentes doses (dose agronomique jusqu'à quarante fois la dose agronomique). L'analyse et la quantification des stérols des sols amendés et des sols de références ont été réalisées par le couplage chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse.

Les échantillons de sols des trois dispositifs expérimentaux sont dominés par la présence de stérols et stanols C₂₇, C₂₈ et C₂₉. Cependant, des changements dans les distributions des stérols et stanols, ainsi que dans les concentrations de ses composés sont observés en fonction des déjections animales épandues et des doses reçues. Parmi les stérols, les phytostérols et le cholestérol sont les composés majoritaires présents sur les profils des sols de références et des sols amendés avec du fumier de volaille et de vache. L'application de lisier de vache et de volaille ne joue donc pas sur la distribution de ses composés, cependant les épandages augmentent significativement la concentration globale en stérols d'un facteur 4 dans le cas des sols amendés par du fumier de vache et d'un facteur 5 dans le cas des sols amendés par du fumier de volaille. Ces composés ne peuvent toutefois pas être utilisés pour tracer les fumiers de vaches et volaille puisque tous les stérols présents dans les fumiers de vache et volaille le sont déjà initialement dans les sols de référence. Le cas des sols amendés avec le lisier de porc est différent, dans la mesure où l'épandage de lisier de porc modifie à la fois la distribution des stérols des sols amendés, mais également leurs concentrations. En effet, trois stanols (coprostanol, épicooprostanol et 24-éthylcoprostanol) apparaissent sur les profils des sols amendés avec du lisier de porc, alors qu'ils ne sont pas présents sur les profils des sols de référence. De plus, l'épandage de lisier de porc augmente fortement la concentration en stérols du sol. Cette augmentation est fonction de la dose de lisier reçue par le sol, avec une augmentation d'un facteur 20 à 30 pour les sols recevant du lisier à dose agronomique et d'un facteur 40 pour les sols amendés avec 40 fois la dose agronomique de lisier de porc. Les résultats montrent également que ces composés spécifiques du lisier de porc sont persistants dans les sols amendés dix ans après l'arrêt des épandages et surtout que l'effet quantitatif des épandages sur la concentration des stérols des sols persiste.

Ainsi ces résultats permettent d'évaluer, via l'analyse des stérols, (1) l'impact des déjections animales épandues à dose agronomique ainsi que (2) l'effet de la dose de déjections épandues sur la composition chimique des sols. De plus, la persistance de cet impact a pu être suivie au cours du temps grâce à l'analyse de parcelles de sols pour lesquelles les amendements de lisier de porc ont été stoppés entre 1 et 10 ans avant échantillonnage.

Nature et répartition des micropolluants organiques lors de la remobilisation d'un sédiment fortement contaminé.

L. Jeanneau¹, P. Faure¹ et E. Jardé²

¹ *UMR G2R, Nancy-Université, CNRS, BP 239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy, France*

² *CAREN, Géosciences Rennes, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France*

La Directive Cadre sur l'Eau (N° 2000/60/CE) vise au bon état écologique et chimique des eaux de surface d'ici 2015. Cette directive souligne notamment l'importance de la continuité eau – sédiment dans la définition du bon état chimique. Le respect de la DCE nécessite de procéder au curage des sédiments des hydrosystèmes les plus contaminés. Cependant ce type d'opération provoque la mobilisation des particules fines des sédiments induisant ainsi des pics de contamination dans les phases dissoutes et particulaires. Il semble donc nécessaire d'étudier ce phénomène de remobilisation des sédiments de manière à mieux contrôler le danger lié aux opérations de curage.

Ce travail a été effectué en simulant la mise en suspension d'un sédiment fortement contaminé par des activités industrielles de sidérurgie et de cokéfaction, présentant une concentration en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) 168 fois supérieure à la limite autorisée par la DCE. Ce sédiment a été extrait à l'eau, puis l'hydro-extrait obtenu a été fractionné par deux étapes successives d'ultrafiltration tangentielle (UF) à 0,5 µm pour séparer la fraction particulaire (FP) de la fraction dissoute et à 20 nm pour diviser la fraction dissoute en fraction colloïdale (FC) et en fraction réellement dissoute (FD). Ces trois fractions ont été analysées en termes de carbone organique dissout (COD), d'aromaticité de la matière organique (MO) par une mesure de l'absorbance des rayons ultraviolet à 254 nm et de composition moléculaire. Les micropolluants organiques présents dans chacune de ces trois fractions ont été isolés par extraction sur support solide en présence d'isopropanol pour limiter les effets de matrice dus aux macromolécules organiques. Ces extraits organiques ont ensuite été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur par spectrométrie de masse (CPG-SM) permettant l'identification et la quantification des micropolluants organiques.

Lors de l'extraction à l'eau de ce sédiment, la MO se retrouve principalement dans la FD avec 52 % du COD présent dans cette fraction. La MO présente dans les trois fractions (FP, FC et FD) présente le même degré d'aromaticité, de l'ordre de 30 %, ce qui correspond aux ordres de grandeur décrits pour la lignine dégradée et les acides humiques. Enfin la concentration en molécules quantifiées par CPG-SM est la plus importante dans FD avec une somme totale de 206 µg/L représentant 59 % de la totalité des molécules quantifiées sur les trois fractions. Les molécules quantifiées ont ensuite été classées selon leur nature chimique en quatre familles : HAPs, HAPs portant un hétéroatome (oxygène, azote ou soufre), acides carboxyliques linéaires et stéroïdes. Au sein des trois fractions (FP, FC et FD), la répartition des molécules dans ces quatre familles est identique avec une forte prédominance des HAPs portant un hétéroatome représentant entre 66 et 69 % des molécules. La deuxième famille en termes d'importance est celle des HAPs qui représente entre 13 et 23 % des composés quantifiés.

Le calcul de facteurs de partition pour chacune des molécules quantifiées dans les trois fractions a permis de mettre en avant différentes tendances. En ce qui concerne les HAPs portant un hétéroatome, ces composés sont principalement liés à la fraction dissoute dans laquelle ils sont équitablement répartis entre FD et FC. En ce qui concerne les HAPs, leur répartition semble être contrôlée par leur hydrophobicité. En effet plus un composé présente un log Kow faible, plus il est préférentiellement lié à FD.

Cette étude, basée sur l'analyse exhaustive des composés organiques, permet de souligner le danger lié à la mise en suspension de ce sédiment. En effet environ 70 % des composés quantifiés sont des HAPs portant un hétéroatome, hors ces molécules sont caractéristiques de mélanges hautement mutagènes sur cellules humaines et bactériennes. De plus le fractionnement préalable par UF a mis en avant le fait que ces molécules sont principalement dans FD qui est la fraction la plus biodisponible. Le développement de ce type d'expérimentation pourrait permettre (1) d'étudier les cinétiques de mobilisation des différents contaminants et (2) de proposer une méthode d'analyse permettant d'orienter les professionnels du traitement des sédiments dans leur besoin logistique.

Minéralisation de micropolluants organiques au cours du compostage de boue et de déchets verts

Lashermes¹ G., Houot¹ S., Bergheaud¹ V., Dumeny¹ V., Poitrenaud² M. et Barriuso¹ E.

¹INRA-AgroParisTech, UMR Environnement et Grandes Cultures, F-78850 Thiverval-Grignon; e-mail : glashermes@grignon.inra.fr ; ²VEOLIA Environnement, Centre de Recherche sur la Propreté et l'Energie, F-78520 Limay

Activité en pleine expansion, le compostage est une filière de valorisation en agriculture des déchets organiques. Cependant, des *micropolluants organiques (MPO)* sont susceptibles d'être associés aux déchets entrant en compostage. Ces MPO peuvent être dégradés ou s'associer aux matières organiques (MO) au cours du compostage. Il est donc important de connaître leur devenir et de favoriser au mieux leur dégradation au cours du compostage afin de minimiser l'impact environnemental éventuel lié à leur présence dans les composts finaux. Le compostage induit une dynamique spécifique des MPO conditionnée par l'évolution des MO et par les conséquences de cette évolution sur les conditions microbiologiques et physico-chimiques régnant au sein de la masse de déchets en cours de compostage.

L'objectif est de mieux comprendre le devenir et l'état des MPO pendant le procédé de compostage en interaction avec les MO en évolution, et leur état dans les composts finaux. Les MPO étudiés sont représentatifs des principales familles de MPO rencontrés dans les composts : un hydrocarbure aromatique polycyclique (*fluoranthène*), deux tensioactifs (un *nonylphénol* et un *sulfonate alkylbenzène linéaire - LAS*), ainsi qu'un pesticide (*glyphosate*). Ces composés sont radioisotopiquement marqués au ¹⁴C. Les MO compostées sont des mélanges de déchets verts et de boue d'épuration.

Six pilotes de compostage de 4 L pourvus d'une aération forcée ont été mis au point pour permettre de travailler avec des produits radiomarqués. Afin d'accompagner l'échauffement naturel au cours du compostage, la température des parois externes des pilotes a été maintenue 1°C au-dessous de la température enregistrée au centre du compost pendant la première semaine, puis elle a été programmée afin de suivre l'évolution de la température « classique » observée lors des compostages à une échelle industrielle. Des retournements, des apports d'eau et des échantillonnages ont été réalisés après les trois principales phases du compostage : thermophile (13 j), de refroidissement (41 j) et de maturation (83 j). Six compostages sans ajout de ¹⁴C-MPO au début du compostage ont été réalisés afin de suivre l'évolution des caractéristiques des MO. Des prélèvements périodiques au cours de ces compostages ont permis d'échantillonner les composts à différents stades d'évolution. Ces échantillons ont été utilisés pour mesurer l'évolution des propriétés de rétention des MPO et des capacités de dégradation des MPO grâce à des incubations menées en parallèle avec apport de ¹⁴C-MPO. Trois répétitions de chaque compostage ont été réalisées. Des compostages avec ajout du ¹⁴C-MPO au début du compostage ont permis de suivre la minéralisation des MPO (¹⁴C-CO₂) et l'évolution de leur extractibilité.

Le compostage s'est déroulé de façon satisfaisante et reproductible. La minéralisation de la MO a été importante pendant la phase thermophile et la température maximale due à l'échauffement naturel du compost a dépassé 50°C dans la plupart des essais. Les microflores se développant au cours des différentes phases du compostage ont montré des capacités de dégradation différentes pour les MPO : le LAS et le glyphosate ont été mieux dégradés par les microflores des phases thermophiles, le nonylphénol par les microflores de la phase de refroidissement alors que le fluoranthène a été le plus minéralisé pendant la phase de maturation. Les coefficients d'adsorption K_d (en L kg⁻¹ MS) étaient en moyenne de 8 pour le glyphosate, 184 pour le LAS, 278 pour le nonylphénol et 310 pour le fluoranthène sur le mélange initial, et ont diminué au cours du compostage. Les capacités de minéralisation des ¹⁴C-MPO au cours du compostage, similaires lors des trois répétitions, ont atteint environ 50 % du ¹⁴C-LAS et entre 15 à 30% du ¹⁴C-glyphosate initialement introduits. Les quantités de ¹⁴C-glyphosate et de ¹⁴C-LAS extractibles ont diminué au cours du compostage. L'expérimentation est en cours pour le fluoranthène et le nonylphénol.

Biodégradabilité et dynamique du phénanthrène dans un sédiment de rivière pollué

Leglize Pierre*, Auvray Isabelle*, Berthelin Jacques

Laboratoire des Interactions Microorganismes, Minéraux, Matière Organique dans les Sols (LIMOS) UMR 7137 Nancy-Université / CNRS, Faculté des Sciences, BP 239, F54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France.

L'objectif de ce programme de recherche était de suivre la dynamique de (bio)transformation du phénanthrène (PHE) apporté dans un sédiment de rivière. Ce sédiment a été prélevé dans une rivière fortement impactée par des activités anthropiques (sidérurgie, contamination urbaine). L'analyse initiale du sédiment a montré une contamination en HAP (331 mg/kg pour les 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques prioritaires – 2280 mg/kg en Zn – 319 mg/kg en Cr).

Le sédiment a été enrichi par 200 mg/kg de PHE, utilisé comme HAP modèle. Une partie du PHE est marquée au carbone 14 (carbone 9). L'incubation a débuté immédiatement après l'apport du PHE. Des témoins abiotiques ont également été réalisés. La minéralisation du PHE a été suivie sur 60j en dosant régulièrement le ¹⁴C-CO₂. L'extractibilité du PHE dans différentes fractions (lipidique, acidosoluble, alcalinosoluble et hydrosoluble) de la matière organique (MO) a été mesurée, après 30 et 60 jours d'incubation. Des dénombrements de microflores totales et dégradant les HAP ont également été réalisées après 30 et 60 jours d'incubation.

Immédiatement après l'ajout de PHE, sa répartition dans les différentes fractions de la MO montre que celui-ci est principalement associé à la fraction lipidique de la MO (30% du PHE apporté) et à la fraction alcalinosoluble (14,2%). Des bilans de carbone organique réalisés sur ces mêmes fractions, montrent que la fraction lipidique représente également 24% du Corg total. Le suivi de la minéralisation, montre une dégradation progressive du PHE, après 60 jours d'incubation 25% du PHE a été minéralisé. Après 30 et 60 jours d'expérimentation, la répartition du PHE dans les traitements abiotiques montre que celui-ci est principalement associé à la fraction lipidique (42 et 51% respectivement) et très peu associé aux fractions aqueuses. Dans les traitements biotiques, les fractions aqueuses (pour tout pH) sont significativement plus importantes par rapport aux traitements abiotiques. De plus, la fraction lipidique est plus faible que dans les traitements abiotiques et également plus faible qu'à l'état initial. Cet enrichissement en activité de la fraction hydrosoluble, pourrait correspondre à la production de métabolites par les microorganismes ou à des associations entre le PHE (et/ou ses métabolites) avec des MO en suspensions plus polaires (riche en groupements oxygénés). Les bilans (somme de toutes les fractions extractibles et de la fraction minéralisée dans le cas des traitements biotiques), réalisés à 30 et 60 jours, montrent qu'une part importante du PHE n'est pas mesurée et correspond à des associations fortement liées à des MO non extraites par les méthodes employées dans cette étude. Les dénombrements de microflores montrent une augmentation importante de la microflore au cours de l'incubation (facteur 300 pour la microflore totale et 100 pour la microflore dégradante en 60 jours). L'activité microbienne ne semble donc pas affectée par le niveau élevé de contamination du sédiment. Ces résultats montrent une dégradation préférentielle du PHE associé à la fraction lipidique avec une libération de métabolites plus hydrosolubles. Des travaux de caractérisation de la nature des produits initiaux et formés (métabolites, associations à des composés organiques naturels ou à des contaminants) sont en cours de réalisation.

Ces travaux sont soutenus par un financement CNRS : ECCO- Cytrix

*Contact actuel

Pierre Leglize : Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120 Nancy-Université/INRA
pierre.leglize@ensaia.inpl-nancy.fr

Isabelle Auvray : Antea Ingénierie et Conseil
i.auvray@antea-ingenierie.fr

Caractérisation de la Matière Organique Dissoute en zones estuariennes et marines peu eutrophisées

Y. Louis^{1*}, G. Durrieu¹, H. Zhao¹, L.-E. Heimbürger², C. Garnier^{1,3}, D. Omanović⁴, V. Lenoble¹, S. Mounier¹, I. Pižeta⁴

* louis@univ-tln.fr

¹ Laboratoire PROTEE, Université du Sud Toulon - Var – BP 20132, 83957 La Garde, France,

² Département Biogéochimie et Ecotoxicologie, IFREMER Centre de Méditerranée, B.P.330, F.83507 La Seyne/mer cedex, France

³ Groupe de Physico Toxico Chimie des Systèmes Naturels, Institut des Sciences Moléculaires (ISM - UMR CNRS 5255), Université Bordeaux I, 33405 Talence, France

⁴ Center for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, P.O. Box 180, 10002 Zagreb, Croatia

Dans les écosystèmes aquatiques, la matière organique dissoute (MOD) joue un rôle majeur sur le comportement des éléments traces (inorganiques et organiques) et leur biodisponibilité vis-à-vis des micro-organismes, de part ses propriétés de complexation. Bien que la MOD marine représente le principal réservoir organique dans les océans, la caractérisation de ses propriétés reste difficile de part les faibles teneurs en MOD (< ppm) associées à des contaminants à l'état de traces (quelques nM).

Cette étude présente un protocole expérimental adapté à des concentrations ultratrace de MOD et de métaux, telles que celles rencontrées dans les eaux oligotrophes de l'estuaire de la Krka (Croatie) et de la Mer Ligure (nord-ouest de la méditerranée). Les échantillons obtenus ont été caractérisés par leur teneur en carbone organique dissous (COD), les propriétés de fluorescence de la MOD, ainsi que sa réactivité vis-à-vis du Cu étudiée par voltamétrie.

Dans l'estuaire de la Krka, caractérisé par une stratification verticale très marquée, les concentrations en COD et en Cu totales et la fluorescence 3D de la MOD ne sont pas conservatives, impliquant des processus de désorption des métaux ainsi qu'une activité biologique plus importante à l'interface eau douce/eau de mer. Les propriétés de complexation de la MOD ont été déterminées par deux approches complémentaires: "à l'équilibre" et "cinétique". Les paramètres de complexation obtenus montrent que la MOD d'origine marine s'associe plus fortement avec le cuivre que la MOD terrigène. Bien que la concentration en ligands complexant soit plus importante dans la couche de mélange, elle ne suffit pas à tamponner complètement l'augmentation de la teneur en Cu totale. En conséquence, les concentrations de Cu libre dans cette zone dépassent le seuil de toxicité (10 pM) défini par Sunda *et al.* (1987, Marine Biology) pour les micro-organismes estuariens. De plus, la cinétique d'association/dissociation est considérablement ralentie, indiquant que la spéciation des métaux dans de tels milieux, soumis à des variations hydrodynamiques fréquentes, n'est probablement pas à l'équilibre. En utilisant les paramètres de complexation déterminés, il a été montré qu'une augmentation de la teneur en Cu totale de la couche de surface jusqu'à atteindre 12 nM (valeur observée en été à cause des activités nautiques) conduit à des teneurs en Cu libres dépassant systématiquement le seuil de toxicité.

En mer Ligure, des profils verticaux ont été réalisés chaque mois durant l'année 2008, à 12 profondeurs jusqu'à 2200 m (site DYFAMED, nord-ouest de la méditerranée). Les profils de COD présentent un maximum en surface (1 ppm) puis décroissent jusqu'à 0.5 ppm en dessous de 200 m. La spectroscopie de fluorescence, associée à un traitement statistique (PARAFAC) des matrices d'excitation/émission de fluorescence, a permis de déterminer la distribution des composantes protéiniques et humiques de la MOD. Sur deux profils verticaux (été/automne), les propriétés de complexation de la MOD vis-à-vis du Cu ont été modélisés à l'aide de paramètres utilisables dans les codes de spéciation (ex. MINEQL, CHESS). Ces paramètres permettent de calculer la distribution verticale du Cu libre (6.5-1.0 pM) en comparaison au Cu total (2.2-1.4 nM).

Evaluation *in situ* du risque associé au transfert de matière organique d'un sol traité en bioremédiation

Stéphanie Ouvrard^a, Pierre Faure^b, Sophie Guimont^c, Jean-Christophe Renat^c,
Jean-Claude Setier^d, Christophe Schwartz^a

^a *Laboratoire Sols et Environnement, Nancy-Université, INRA,
2 avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy*

^b *G2R, Nancy-Université, CNRS,*

Boulevard des Aiguillettes, B.P. 239, F-54506 Vandœuvre lès Nancy

^c *TVD, Centre d'affaires, Z. I. Clairs Chênes, F-54230 Chavigny*

^d *TOTAL, avenue Larribau, F-64018 Pau*

Du fait de leur ubiquité, toxicité et forte rémanence dans les sols, les polluants organiques font partie des contaminants les plus surveillés dans l'environnement. Des traitements efficaces, aussi bien physico-chimiques que biologiques, ont ainsi été développés afin d'abaisser à des niveaux considérés comme acceptables les teneurs de ces molécules les sols contaminés. Néanmoins, malgré leur efficacité, ces traitements ne permettent pas d'éliminer la totalité des molécules ciblées et une fraction pas ou peu dégradable reste présente dans les sols. L'objectif des travaux présentés est ainsi d'établir un diagnostic sur l'impact environnemental de ces pollutions résiduelles et proposer des méthodes de gestion post-traitement adaptées. La gestion de terres contaminées par des hydrocarbures a été suivie sur toute la filière depuis le diagnostic pré-traitement, le suivi du traitement biologique (biopile) jusqu'au diagnostic post-traitement. C'est ce dernier point qui est développé ici.

La démarche adoptée est double. Des techniques classiques de diagnostic de laboratoire ont été menées (caractérisation agronomique, nature et teneur des polluants résiduels, mesure des fractions extractibles, tests biologiques) et complétées par une approche originale de diagnostic *in situ*. Pour ce faire, un lysimètre de grande taille a été mis en place sur la station expérimentale du GISFI (Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Friches Industrielles, www.gisfi.fr). Il s'agit d'une colonne de sol reconstitué de 2 m de hauteur sur 1 m² de surface. Le dispositif est placé sur pesons et équipé de sondes permettant le suivi d'humidité du système et le prélèvement de solution du sol. Par ailleurs, les percolats sont collectés et quantifiés. Les échantillons prélevés sont caractérisés par rapport à leur teneur en hydrocarbure, carbone organique, toxicité (Microtox®) et la signature des composés organiques est suivi par fluorescence 3D.

Les données obtenues après 18 mois de suivi permettent de mettre en perspective les informations obtenues au laboratoire. Le diagnostic réalisé au laboratoire n'a pas montré de transfert de contaminant ni de toxicité des extraits aqueux. Seule une inhibition de germination de certaines espèces végétales a été observée. Les résultats obtenus sur le lysimètre ont mis en évidence que les extraits aqueux obtenus au laboratoire sous-estiment les quantités de carbone dissous transféré. Ce carbone par ailleurs évolue en qualité et en quantité le long du profil. De plus, au cours du temps, on observe dans l'horizon de surface l'apparition de composés toxiques non identifiés mais probablement d'origine organique. Ces informations montrent la pertinence de la double approche et la difficulté d'établir un diagnostic fiable. En effet, la matière organique essentiellement d'origine anthropique dans ces systèmes reste méconnue et les composés organiques initialement suivis (hydrocarbures) ne sont pas nécessairement ceux qui induisent un risque post-traitement. De nouvelles techniques de caractérisation, telle la fluorescence 3D, à mettre en œuvre sur la phase solide (sol) et/ou liquide (solution du sol) sont ainsi nécessaires pour acquérir des données à mettre en relation avec la toxicité constatée.

Mobilité et charge de nanocolloïdes organiques et étude de leurs interactions avec l'euporium

Gaëlle Roger¹, Serge Durand-Vidal, Guillaume Mériguet, Olivier Bernard, Pierre Turq

*Laboratoire PECSA, UPMC Université Paris 6 (UMR CNRS 7612)
Bât. F74 – Case Courrier 51
4 place Jussieu 75005 PARIS FRANCE*

Le mode de stockage retenu par l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) pour les déchets les plus radioactifs est le stockage réversible en formation géologique profonde. La roche argileuse choisie (Callovo-Oxfordien de l'est du bassin parisien) possède une très grande capacité de rétention des radionucléides. Toutefois la présence de nanocolloïdes (substances humiques et fulviques) issus de l'altération de la matière organique présente dans l'argilite pourrait être à l'origine d'un transport facilité des radionucléides dans le cas d'un relargage accidentel. En effet, ces colloïdes sont de bons complexants des éléments radioactifs tels que les actinides et leur charge négative les rend assez furtifs par rapport aux argilites elles aussi chargées négativement.

Nous nous sommes donc intéressés à la mobilité et la charge de ces particules en présence (ou en absence) d'euporium.

Un acide humique standard (Aldrich) ainsi que l'acide polyacrylique considéré comme un modèle simple de ces colloïdes ont été étudiés par une méthode originale : la conductivité haute précision. Cette méthode nous permet déterminer la taille et la charge de ces particules en suspension.

Ces expériences de conductivité ont été couplées à d'autres méthodes expérimentales : Microscopie à Force Atomique (AFM), diffusion de lumière, dosages potentiométriques, etc. afin de corréliser les résultats obtenus.

Nous pouvons ensuite nous baser sur cette première étude afin d'étudier la variation de la taille et de la charge des colloïdes en fonction de la force ionique et du pH (afin de nous rapprocher des conditions environnementales) et étudier les interactions entre les acides humiques et l'euporium qui peut être considéré comme un bon analogue des actinides. La mobilité des complexes éventuellement formés sera analysée et les premiers résultats de cette étude seront présentés.

La méthodologie est plus générale et pourra être adaptée à d'autres types de polluants des sols et des eaux.

¹ CNRS – ANDRA

LES MATIERES ORGANIQUES DE TECHNOSOLS : EVOLUTION ET CONTRIBUTION A L'AGREGATION

**Françoise WATTEAU¹, Geneviève VILLEMIN²,
Adeline BOUCHARD¹, Marie-France MONSERIE¹ et Geoffroy SERE³**

¹Laboratoire Sols et Environnement, Nancy Université INRA, 2 avenue de la forêt de Haye,
BP 172, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy ; www.lse.inpl-nancy.fr

²Microhumus Laboratoire, Bât. Promotech, 54603 Villers-lès-Nancy ; www.microhumus.fr

³Groupe TVD, Zone industrielle des clairs chênes, 54230 Chavigny

Les technosols sont des sols qui ont subi des modifications importantes, par apport massif de matériaux technologiques, susceptibles de contrôler leur fonctionnement et leur évolution (World Reference Base for Soil Resources, 2006). Ainsi, ces sols sont des mélanges de matières organiques et minérales, dont l'origine peut être naturelle ou synthétique.

En ce qui concerne les technosols que nous étudions, qui sont des sols construits multipollués disposés sur la plateforme expérimentale du GISFI (www.gisfi.fr), les matières organiques sont (1) constitutives du matériau initial, comme des boues de papeteries (Séré et al., 2006) ou des composés carbonés (bitume, coke, HAP...) issus de résidus d'une ancienne cokerie (Monserié et al, soumis) , (2) ajoutées aux matériaux constitutifs initiaux en tant que matières organiques fertilisantes, comme des composts (Villemin et al., 2006), ou encore (3) présentes naturellement car issues d'une colonisation végétale spontanée de ces milieux, correspondant alors à des apports de carbone végétal et microbien. Ces matières organiques se caractérisent ainsi par une grande diversité en terme d'origine (naturelle ou synthétique), de nature (végétale ou microbienne) et d'état de biodégradation, et constituent un des moteurs de la pédogenèse de ces milieux. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à leur rôle sur la structuration de ces sols et avons choisi de travailler à l'échelle de l'agrégat, notamment des microagrégats. Notre approche associe une étude de la stabilité structurale à une caractérisation morphologique et analytique des constituants et des associations organo-minérales, en particulier à l'échelle ultrastructurale en MET/EDX (Microscopie Electronique à Transmission associée à la microanalyse EDX).

L'approche utilisée nous a permis:

- de suivre la biodégradation des matières organiques au sein de ces milieux
- de mettre en évidence *in situ* la contribution des matières organiques anthropiques et des microorganismes à la formation d'associations organo-minérales stables
- de mettre en évidence le transfert d'éléments polluants (ETM) associés initialement aux matériaux constitutifs sur les matières organiques provenant de plantes ayant colonisé le technosol.

L'ensemble des résultats souligne l'importance de l'activité biologique dans l'évolution de ces milieux, en particulier celle liée à l'activité de la microflore associée au développement des plantes et à la dégradation des matières organiques. Ces informations nous permettent de préciser le rôle des matières organiques dans le biofonctionnement des technosols, en terme d'évolution du carbone au sein de ces milieux et de réactivité vis-à-vis des éléments polluants ou fertilisants, et ainsi de préciser la capacité de ce type de sol à assurer une fonction de support de végétation.

Monserié MF, Watteau F, Villemin G et Morel JL. Aggregation in technosols : Identification of aggregates in a technosol derived from coking plant waste materials. Soumis à Journal of Soils and Sediments.

Sere G., Schwartz C, Ouvrard S, Renat JC, Morel JL, 2006. Early stages of the pedogenesis of constructed soils. Workshop on modelling of pedogenesis. Orléans.

Villemin G, Watteau F et Morel JL, 2007. La visualisation et la micro-analyse des composts en microscopie électronique : une clef pour la qualité, la fabrication et l'utilisation des composts. Techniques, Sciences et Méthodes, 5, 67-78.

Interaction entre la matière organique et les métaux, application du quenching de fluorescence et comparaison de substances humiques de différents milieux

H. ZHAO, S. MOUNIER

*Laboratoire PROTEE – Batiment R, Avenue de l'Université,
Université du Sud Toulon-Var,
BP 20132, 83957 LA GARDE Cedex*

huiyu_zhao@hotmail.fr, mounier@univ-tln.fr

La fluorescence est une technique intéressante grâce à sa limite de détection et à l'analyse directe des échantillons dans le domaine de la chimie environnementale. En effet, elle permet d'étudier les propriétés de fluorescences de la matière organique en travaillant sur des concentrations naturelles. Depuis une dizaine d'année les mesures de fluorescence 3D permettent de caractériser les mélanges de matière organique fluorescence (MOF).

La technique du quenching de fluorescence est utilisée en association avec des mesures de fluorescence 3D et un outil de séparation de source PARAFAC. Elle a été employée pour déterminer les composants présents dans une solution et sensibles au quenching de fluorescence.

Afin de bien modéliser les résultats du quenching, deux modèles ont été appliqués : le modèle 1 : 1 (metal [M] : ligand [L]=1:1 et le modèle 1 : 2 (metal [M] : ligand [L]=1:2) à l'aide du programme PROSECE (PRogramme d'Optimisation et de SpEciation Chimique dans l'Environnement) issu des recherches du laboratoire.

Les résultats obtenus sur des échantillons de MON référence et de MON extraite de sol en provenance du Cameroun (Monts Bambouto) seront présentées.

Session 4

Oral

Les besoins industriels en matières de recherche sur le traitement biologique des déchets

M. POITRENAUD¹, C. FRANCOU¹

1 - VEOLIA Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté, F-78520 Limay, France

Veolia Environnement fait de la recherche une de ses priorités et s'appuie de longue date sur ses centres de recherche pour innover dans ses différents métiers : eau, énergie, propreté, transport. Les objectifs des programmes de recherche sont à la fois d'optimiser les procédés existants, mais aussi d'inventer de nouvelles technologies tout en maîtrisant les impacts environnementaux et sanitaires des activités du groupe.

Pour optimiser, inventer, mesurer, contrôler et maîtriser, il est nécessaire de comprendre les phénomènes impliqués dans nos différents procédés. En d'autres termes, pour mettre au point un procédé opérationnel il est souvent nécessaire de passer par une étape préalable fondamentale pour laquelle la collaboration avec la recherche publique est indispensable. A travers le monde, la Recherche de Veolia Environnement s'appuie ainsi sur plus de 200 partenaires industriels et académiques.

Si l'on prend l'exemple des métiers des traitements biologiques des déchets organiques et leur retour au sol, les phénomènes qui entrent en jeu sont multiples et complexes : agronomie, biologie, chimie, physique et nécessitent donc des compétences pointues dans ces différentes disciplines. La collaboration entre une entreprise privée et les instituts publics permet la rencontre de ces compétences pointues et des expertises métiers.

Ainsi, sur des problématiques complexes comme l'humification au cours du compostage, la durabilité du stockage du carbone dans les sols amendés en compost, les collaborations avec des spécialistes de la recherche publique permettent d'aller beaucoup plus loin. Les étapes de modélisation initiées aujourd'hui avec des instituts nationaux nous permettront demain de mieux prédire les différents phénomènes biologiques et physiques et aussi optimiser les procédés, en termes de qualité de produits finis, de maîtrises des impacts et de consommations énergétiques. De même, des analyses de précision telle que le couplage pyrolyse/GC/MS réalisées en collaboration avec l'INRA permettent d'obtenir des analyses fines des matières organiques en compostage et ainsi analyser leur transformation au cours du procédé. D'autres analyses (minéralisation C et N) sont utilisées pour essayer de prédire le comportement des produits organiques lorsqu'ils sont apportés au sol. Une collaboration est ainsi développée avec l'INRA de Versailles-Grignon depuis plus de 10 ans sur la thématique de la relation entre les déchets compostés, les procédés et les effets des composts sur le sol. Tous ces travaux contribuent à améliorer la maîtrise des procédés et la qualité agronomique et environnementale des composts.

Le lien permanent entre la recherche publique et la recherche industrielle dans nos collaborations permet d'approfondir la connaissance des procédés et de connecter directement les résultats obtenus aux procédés industriels étudiés, ce qui assure ainsi une application concrète et immédiate des travaux de recherche.

Stabilité de la matière organique de sols de cokerie

Impacts de la désorption thermique sur la composition de la MO et sur la répartition des métaux

**Coralie Biache ^{a,b}, Laurence Mansuy-Huault ^a, Pierre Faure ^a, Colette Munier-Lamy ^b,
Corinne Leyval ^b.**

*^a G2R UMR 7566, Nancy Université, CNRS, Boulevard des Aiguillettes B.P. 239, F-54506
Vandoeuvre-les-Nancy, France*

*^b LIMOS UMR 7137, Nancy Université, CNRS, Boulevard des Aiguillettes B.P. 239, F-54506
Vandoeuvre-les-Nancy, France*

Le Nord et l'Est de la France ont hérité de nombreuses friches industrielles, dû à la cessation progressive des activités houillères et sidérurgiques qui ont eu lieu ces trente dernières années. Certains de ces sites, notamment les anciennes cokeries, sont contaminés par une pollution mixte, à la fois par des éléments métalliques et des composés organiques. Pour éliminer les polluants organiques, la désorption thermique est un des traitements de dépollution le plus fréquemment utilisé. Ce traitement permet en effet de diminuer de façon importante la teneur en polluants organiques prioritaires (notamment les HAP ou hydrocarbures aromatiques polycycliques). Mais qu'advient-il du reste des constituants organiques présents ?

Afin de déterminer l'influence de ce type de traitement sur le compartiment organique et sur le comportement des éléments métalliques qui y sont associés, deux sols de cokerie non traités et leurs équivalents traités par désorption thermique ont été étudiés. La teneur en carbone organique total (COT), en matière organique extractible au solvant (MOE) et en HAP ont été déterminés. De plus, les impacts liés au traitement par désorption thermique ont été évalués par une caractérisation à l'échelle moléculaire du compartiment organique (distribution moléculaire des composés aliphatiques, aromatiques et polaires) et une étude de la répartition des éléments métalliques dans les différents compartiments du sol (extractions spécifiques).

Pour les deux sols analysés, la désorption thermique induit un abattement des teneurs en HAP de plus de 90%. La quantité de MOE diminue fortement après traitement alors que le COT reste constant. Ces observations suggèrent que la volatilisation des composés organiques n'est pas le processus dominant intervenant lors de la désorption thermique. Une condensation de la MOE est très probablement responsable de la diminution des teneurs en composés organiques. Une telle condensation est-elle définitive (stabilisation de la pollution) ou bien peut-elle être réversible, impliquant alors une libération potentielle de contaminants sur le long terme ?

Le comportement des éléments métalliques au cours du traitement montre que seuls le fer et le zinc subissent des changements de distribution dans les différents compartiments du sol. Toutefois, ceux-ci n'affectent que les fractions les plus stables (associées aux oxydes de fer non cristallisés et à la fraction résiduelle) et ne semblent pas augmenter la mobilité des métaux.

La qualité de la matière organique des produits résiduaux organiques influence leurs effets sur les sols : synthèse après 10 ans de l'essai QualiAgro

S. Houot¹, G. Bodineau¹, JN Rampon¹, A. Michaud¹, C. Peltre¹, M. Annabi², P. Cambier¹, P. Benoit¹, MF Dignac³, S. Générmont¹, P. Laville¹, CS Haudin¹, D. Montagne¹, M. Poitrenaud⁴

1. UMR Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon ; 2. INRAT, Ariana, Tunisie ; 3. UMR Biogéochimie des milieux continentaux, 78850 Thiverval-Grignon ; 4. VEOLIA Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté et l'Energie, F-78520 Limay, France.

Le retour au sol de composts d'origine urbaine permet la valorisation de leur fraction organique et contribue au recyclage des déchets urbains dont le Grenelle de l'Environnement a souligné la nécessité du développement. Par ailleurs l'augmentation du coût des engrais est un autre facteur favorisant le développement de l'utilisation de produits résiduaux organiques (PRO) en agriculture. Le lien entre leurs effets et la nature de leur matière organique reste mal connu et des références à acquérir au champ sont nécessaires à l'amélioration de la gestion de leurs apports pour maximiser leur valeur agronomique et minimiser leurs impacts environnementaux éventuels.

Le site atelier QualiAgro (Feucherolles, 78, France) a été mis en place en 1998. Sur une parcelle de 6 ha, 5 traitements organiques sont croisés avec 2 niveaux de fertilisation azotée (optimale et minimale) dans 4 blocs de répétition des différents traitements. Les 5 traitements organiques incluent : un compost d'ordures ménagères résiduelles (OMR, compostage de la fraction résiduelle des ordures ménagères après tri sélectif des emballages), un co-compost de déchets verts et boue d'épuration urbaine (DVB), un co-compost de biodéchets (fraction fermentescibles des ordures ménagères collectée sélectivement) et de déchets verts (BIO), un fumier de bovins, vaches laitières en stabulation entravée (FUM) et un témoin sans apport organique. Le sol est un luvisol, sol limoneux décarbonaté sur 1 m de profondeur. La parcelle est cultivée selon une rotation blé-maïs. Les PRO sont apportés sur chaume de blé début Septembre et immédiatement enfouis après épandage. Les apports sont faits sur la base de la teneur en C des PRO et l'équivalent de 4tC/ha est apporté à chaque épandage.

Une synthèse des résultats obtenus après 10 ans est présentée et montre que ces effets sont directement liés à la nature de la matière organique (MO) des PRO apportés, celle-ci étant conditionnée par le type de déchets compostés et le procédé de compostage. Le degré de stabilité atteint par la MO des composts conditionne leurs effets, en particulier leur efficacité à augmenter les teneurs en MO des sols. Ces augmentations varient de 10% (OMR) à 20% (FUM, DVB et BIO) ; elles sont directement liées à la proportion de lignine dans la MO des PRO. Cependant cette augmentation de MO dans le sol correspond en grande partie (65 à 70%) à celle de la fraction particulière de la MO, confirmée par la détection de marqueurs de la MO des PRO dans cette fraction particulière.

Les apports de PRO améliorent la fertilité physique et chimique des sols. La stabilité des agrégats augmente dans tous les traitements. Cette amélioration se fait selon des processus différents selon le degré de stabilité des MO apportées. Les PRO ayant une MO encore facilement biodégradable (OMR) augmente la stabilité des agrégats via leur stimulation de la biomasse microbienne, les autres via les apports de MO humifiée. Les apports de PRO augmentent les rendements des cultures, en partie via leur disponibilité en azote. Celui-ci est en grande partie organique et se minéralise progressivement au cours des années après apport (de 8% à 12% par an). Le bilan azoté fait en tenant compte des évolutions des teneurs dans les sols montrent des pertes d'environ 20% de l'azote total apporté par voie gazeuse ou par lessivage.

Les effets des apports sur les caractéristiques chimiques du sol modulent également les impacts environnementaux éventuels. Ainsi par exemple, si les évolutions des teneurs en éléments traces dans les sols sont liés aux flux d'entrée via les apports de PRO, en revanche, leur biodisponibilité telle qu'estimée via une extraction au CaCl₂ est modulée d'une part en fonction de l'état de ces éléments dans les PRO, mais également via les effets des apports sur le pH du sol qui peut augmenter.

Procédé de fabrication d'agrocarburants à partir de biomasse « humifiée »

D. Kpogbemabou, L. Lemée, A. Amblès

*Université de Poitiers, CNRS SRSN, UMR 6514,
40, avenue du Recteur Pineau - 86022 POITIERS cedex, France
david.kpogbemabou@etu.univ-poitiers.fr*

En France le secteur des transports représente 26% des émissions de gaz à effet de serre et dépend à 87% des combustibles fossiles. Le développement des agrocarburants peut donc contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique tout en réduisant la dépendance énergétique. La biomasse représente en France un potentiel énergétique de 30 millions de tep/an, soit environ 15% de la consommation nationale. Or 80% de ces ressources sont constituées de matériaux ligno-cellulosiques encore difficilement exploitables. Les agrocarburants de première génération sont soit des esters de lipides obtenus à partir d'oléagineux soit de l'éthanol issu de la fermentation des glucides provenant de cultures sucrières ou céréalières. De par leur compétitivité avec la filière alimentaire, ces agrocarburants de première génération ont un impact certain sur le prix des céréales. Afin de limiter de tels conflits d'usage, les agrocarburants de seconde génération exploitent des ressources différentes en valorisant la partie ligno-cellulosique de la biomasse^[1]. La gazéification, la fermentation et la pyrolyse directe sont les procédés les plus utilisés. Toutefois des rendements faibles et une forte consommation en hydrogène constituent le facteur limitant.

Le Programme National de Recherche sur les Biocarburants (PNRB) vise à augmenter les ressources mobilisables et à développer la conversion de la biomasse ligno-cellulosique. Dans ce cadre le projet LIGNOCARB étudie la liquéfaction de la biomasse préalablement modifiée par traitement biochimique (déstructuration). Le but étant de diminuer la consommation en hydrogène. L'objectif du laboratoire de Synthèse et Réactivité des Substances Naturelle (SRSN) est de mettre au point et d'optimiser l'étape de digestion de la biomasse.

Après réalisation du réacteur, l'influence de différents facteurs (nature des intrants, aération, humidité) sur l'activité bactérienne, responsable de la transformation de la biomasse est étudiée. Les paramètres suivis sont : la température, le pH, le rapport carbone/azote. Les fractionnements chimique (protocole IHSS) et biochimique (van Soest) nous permettent de suivre les indices de maturité (rapport « acides humiques » / « acides fulviques ») et de stabilité biologique (solubles, hémicelluloses, celluloses, lignines). Ainsi, l'augmentation de la quantité relative de lignine traduit la stabilisation de la matière organique (MO) qui devient réfractaire à la biodégradation tandis que l'augmentation du rapport AH/AF montre une humification de la MO. Cependant, contrairement au compostage, nous ne cherchons pas à obtenir une MO mature pour laquelle la perte de carbone serait trop importante.

L'analyse globale de la MO au cours de sa transformation réalisée par spectroscopie infra rouge à transformée de Fourier en réflexion diffuse (DRIFTS) confirme l'humification. En effet les bandes relatives aux groupements aromatiques augmentent relativement à celles associées aux groupes aliphatiques^{[2] [3]}. Une étude moléculaire plus poussée est réalisée dans une deuxième étape sur les lipides et fractions humiques par spectrométrie de masse (GC/MS), pyrolyse multishot (Py-GC/MS) et thermodesorption (Headspace-GC/MS). L'évolution de la quantité de lipides témoigne d'une forte biodégradation. Parmi les composés organiques volatils (COVs), susceptibles d'être produits lors de la biodégradation, la cétone isoprénoïde en C₁₈ est observée dans tous les échantillons. Son origine probable est la dégradation bactérienne du phytol.

La matière organique obtenue après déstructuration est stable (peu biodégradable) et humifiée tout en demeurant riche en carbone. L'analyse moléculaire des biomarqueurs bactériens nous permettra de préciser et donc d'optimiser les mécanismes de biotransformation.

[1] A. Dermirbas et al., Progress in energy and combustion science, 33 (2007), 1 - 18.

[2] P. Castaldi et al., Waste Management, 25 (2005), 213 – 217.

[3] M. Crube et al., Geoderma, 130 2006, 1573 – 1586.

La valorisation agricole des produits résiduaux organiques dans les agro-systèmes en Afrique de l'Ouest et à Madagascar.

Masse D, Hien E, Rabeharisoa L

IRD UR SeqBio / UMR ECO&SOL / LRI, BP434 101 Antananarivo, Madagascar

Université de Ouagadougou, UFR SVT, Ouagadougou, Burkina Faso

LRI, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

La crise alimentaire mondiale a révélé la vulnérabilité des pays du Sud face aux fluctuations des cours mondiaux des matières premières et la nécessité d'assurer le développement de leur production agricole. Pour augmenter la production agricole, les solutions techniques visant à augmenter la productivité des sols, mais également à restaurer la capacité des sols non cultivés à produire, demeurent d'actualité. Les études antérieures sur les pratiques de fertilisation et d'amendement des sols tropicaux cultivés ont montré la nécessité d'associer des apports organiques et minéraux. Une meilleure gestion des ressources organiques à valoriser sous forme de fertilisants ou amendements est nécessaire dans les pays du Sud confrontés également à un défaut chronique de capacités d'investissement.

L'urbanisation croissante des pays du Sud entraîne une importante production de déchets domestiques et industriels. Relativement riches en éléments fertilisants pour les sols, ces déchets sont une opportunité pour améliorer durablement la production agricole et la qualité des sols cultivés, notamment dans les zones urbaines et péri-urbaines. Même si des pratiques traditionnelles ou plus récentes mettent en valeur des produits résiduaux organiques, il est apparu nécessaire de consolider ou d'acquérir des connaissances scientifiques sur la qualité de ces matières fertilisantes ou amendantes et leur impact agronomique et environnemental sur les sols.

Depuis 2006, des équipes pluridisciplinaires en Afrique de l'Ouest et à Madagascar mènent des travaux de recherche dont les objectifs sont :

- de développer une base de connaissances sur les usages et la valeur agronomique des substrats organiques utilisés en agriculture péri-urbaine.
- d'évaluer l'impact de leur utilisation sur les propriétés des sols cultivés.
- d'améliorer les propriétés agronomiques des fertilisants ou amendements organiques et d'adapter les pratiques culturales selon les systèmes de culture et les propriétés des sols.

Cette communication a pour objectif de faire le point sur les connaissances, les questions posées et les premiers résultats expérimentaux sur la valorisation agricole des produits résiduaux organiques en Afrique de l'Ouest et à Madagascar.

Caractérisation et estimation d'indicateurs de biodégradabilité anaérobie de boues activées

A. Mottet^{1,2,*}, E. François^{1,2}, J.P. Steyer¹, S. Déléris², F. Vedrenne², H. Carrère¹

1 INRA, UR50, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Avenue des Etangs, Narbonne, F-11100, France

2 Veolia Environnement R&D, Centre de Recherche sur l'Eau, F-78603 Maisons-Laffitte, France

* contact: Tel.: +33 468 425 177; fax: +33 468 425 160; e-mail address: mottet@supagro.inra.fr

La digestion anaérobie est un procédé de choix pour stabiliser les boues d'épuration car il permet de réduire leur quantité tout en les valorisant sous forme de biogaz. La biodégradabilité anaérobie des boues activées, provenant du traitement biologique des eaux usées, est relativement faible comparée à celle des boues primaires. Les boues activées sont plus structurées et composées de micro-organismes du fait de leur origine biologique et donc moins biodégradables que les boues primaires. Peu d'études s'intéressent à l'impact de la composition de la matière organique des boues activées sur les performances de digestion. Pourtant, le peu de résultats tend à dire que la composition de la MO du substrat est un paramètre important, au même titre que les conditions opératoires, sur la diversité microbienne et les voies de transformations au sein du digesteur (Demirel *et al.*, 2006 ; Liu *et al.*, 2008 ; Neves *et al.*, 2008 ; Bengtsson *et al.*, 2008).

Ainsi l'étude a pour objectif de relier la caractérisation de la MO des boues à leur biodégradabilité afin de définir des indicateurs prédictifs. La MO de 6 boues activées a été caractérisée avant et après digestion anaérobie au niveau industriel, afin de créer une typologie des boues à traiter et de déterminer la matière non dégradée pour un temps donné de digestion. Une meilleure connaissance de la qualité de l'entrant devrait permettre d'optimiser les performances de la méthanisation en choisissant un prétraitement adapté et des conditions opératoires appropriées en fonction de la composition de la matière présente et de prédire les rendements de méthanisation.

Les résultats de caractérisation, à partir d'analyses physico-chimiques réalisées en triplicata, ont montré que les boues activées sont essentiellement constituées de matières particulaires, soit 93 ± 4 %. La matière volatile mesurée, assimilée à la MO, a été fractionnée en protéines, glucides, lipides, AGV et lignine. Une autre méthode, le fractionnement de Van Soest initialement destiné à la caractérisation de composés végétaux, a été testée. Les composés ont été classés en compartiments de matière plus ou moins facilement extractibles, soit la fraction soluble dans un détergent neutre, et les fractions assimilées à l'hémicellulose, la cellulose et la lignine. Une étude statistique PLS (Partial Least Square) a été réalisée afin de mettre en relation la caractérisation initiale de cinq boues étudiées et leur biodégradabilité anaérobie déterminée par des tests BMP (Biochemical Methane Potential) en condition thermophile (triplicats). Les indicateurs initiaux de la matière organique, qui ont un impact pertinent et cohérent sur la biodégradabilité comprennent les teneurs en protéines et en glucides, l'état d'oxydation de la matière, le carbone organique total dans la fraction soluble. La précision du modèle obtenue à partir de ces cinq paramètres est de 28 %, ce qui est correct au vu des méthodes analytiques utilisées. Ce modèle a été validé à l'aide des paramètres d'une sixième boue non utilisée pour élaborer le modèle. Les résultats montrent que le modèle permet d'obtenir une biodégradabilité estimée proche de la valeur réelle, l'erreur de mesure étant de 2,4%.

Ainsi la composition de la matière organique des boues activées est un facteur clef pour comprendre et optimiser les voies de transformations de la matière organique. La prédiction de la biodégradabilité anaérobie peut également être envisagée.

Références

- Bengtsson, S., Hallquist, J., Werker, A. and Welander, T. (2008) Acidogenic fermentation of industrial wastewaters: Effects of chemostat retention time and pH on volatile fatty acids production. *Biochemical Engineering Journal* 40(3), 492-499.
- Demirel, B. and Yenigun, O. (2006) Changes in microbial ecology in an anaerobic reactor. *Bioresource Technology* 97(10), 1201-1208.
- Liu, D. W., Zeng, R. J. and Angelidaki, I. (2008) Effects of pH and hydraulic retention time on hydrogen production versus methanogenesis during anaerobic fermentation of organic household solid waste under extreme-thermophilic temperature (70 degrees C). *Biotechnology and Bioengineering* 100(6), 1108-1114.
- Neves, L., Goncalo, E., Oliveira, R. and Alves, M. M. (2008) Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures. *Waste Management* 28(6), 965-972.

Modélisation de la dynamique de la matière organique pendant le processus de compostage

Y. Zhang¹, P. Garnier¹, G. Lashermes¹, J. Doublet³, C. Francou³, JP. Steyer², S. Houot¹

1 – UMR EGC, 78 850 Thiverval Grignon-France

2 – INRA, UR50, LBE, Avenue des Etangs, F-11100 Narbonne, France

3 - VEOLIA Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté et l’Energie, F-78520 Limay, France

Nous présentons un nouveau modèle qui décrit la dégradation des matières organiques pendant le compostage et qui s’inspire des modèles développés par Kaiser (1996) et Sole-Mauri et al. (2007). La décomposition de la matière organique est basée non seulement sur sa propriété intrinsèque à être décomposée mais également sur la capacité des microorganismes à la consommer. La matière organique est divisée en 5 pools de fractions biochimiques qui ont chacun un taux de dégradation spécifique. Nous avons utilisé l’approche de fractionnement Van Soest qui distingue le soluble à l’eau SOL-W, le soluble au détergent neutre SOL-DN, l’hémicellulose HCEL, la cellulose CELL, et la lignine LIC. L’hydrolyse par des enzymes extracellulaires de la matière organique est traitée de manière séparée à son assimilation par la biomasse microbienne. Notre modèle considère également plusieurs populations de microorganismes capables de décomposer des catégories de substrats différentes et dont les taux de croissance dépendent de la température. Les microorganismes morts viennent alimenter pour partie le pool de matière organique SOL-W facilement dégradabile et pour partie le pool SOL-DN plus difficilement dégradabile. Le modèle a été testé avec les données expérimentales de Doublet (2008) et Francou et al. (2008). Ces travaux ont étudié l’évolution de déchets urbains pendant le compostage. Nous avons optimisé les paramètres du modèle pour chacune des expériences en utilisant l’évolution des fractions Van Soest, de la température, de la masse de carbone restant. Nous avons ensuite utilisé ces paramètres moyens pour re-simuler les différentes expériences en calculant à chaque fois les efficacités du modèle. Celles-ci étant supérieures à 0.8 indiquent une bonne correspondance entre les résultats expérimentaux et simulés.

Doublet J. 2008. Influence du co-substrat carboné sur la nature des matières organiques et les formes d’azote des composts de boue d’épuration ; conséquences sur la disponibilité de cet azote. Thèse de Doctorat AgroParisTech.

Francou C., Linères M., Derenne S., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S. - 2008 - Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting. *Bioresource Technology*, 99, 18, 8926-8934.

Kaiser J., 1996. Modelling composting as a microbial ecosystem: A simulation approach. *Ecological Modelling* 91 (1-3), 25-37.

Sole-Mauri F., Illa J., Magry A., Prenafeta-Boldu F.X., Flotats X., 2007. An integrated biochemical and physical model for the composting process. *Bioresource Technology*. 98 (2007) 3278–3293.

Session 4

Posters

Valorisation de boues de station d'épuration chaulées et séchées en amendement de jeunes semis de chêne pédonculé.

Mohammed Benbrahim^{1,2}, Badr Alaoui-Sossé¹, Laurence Alaoui-Sossé¹, Lucie Lovy¹, Pierre-Marie Badot¹.

1 : Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-environnement (UMR CNRS 6249), Pôle Universitaire, BP 71 427, 25211 Montbéliard Cédex, France.

2 : RITTMO, 24 rue du moulin, 68740 Nambsheim, France.

En France, les boues d'épuration des eaux usées sont généralement valorisées par épandage en agriculture. Cette filière est cependant fragilisée par la controverse autour de la sécurité des aliments cultivés après épandage boue de STEP. Les professionnels sont de plus en plus intéressés par une filière alternative aux épandages agricoles des boues de STEP. Dans ce contexte, la mise en place d'une filière sylvicole avec une valorisation des boues en parcelles boisées paraît intéressante. Un groupe de travail a été mis en place au niveau national pour évaluer les risques et les bénéfices de telles pratiques.

L'objectif de notre étude était d'évaluer les effets d'un apport de boue sur la croissance, la nutrition minérale et le transfert des éléments traces métalliques chez des jeunes semis de Chêne pédonculé (*Quercus robur*, L.) cultivés en conditions contrôlées. L'étude a porté sur le produit OXYOB issu de boues chaulées ayant une siccité de 90%. Le produit a été ajouté à deux doses différentes : 3 T MS/ha et 30 T MS/ha. Les effets de l'apport de boue ont été évalués pendant les six mois qui ont suivi l'épandage. A l'issue de l'étude, les flux d'éléments apportés par les boues ne dépassaient pas les 7% des stocks initiaux dans le substrat. Aucun effet significatif n'a été observé après 6 mois de croissance sur les teneurs en éléments minéraux ou en ETM dans les feuilles. De même, Les biomasses et l'assimilation de CO₂ n'ont pas été affectées par l'apport des boues. Les ETM n'ont pas montré de différence significative d'accumulation dans les plants entre les trois traitements ($p < 0.05$). L'effet sur la croissance des plants forestiers doit donc être évalué à plus long terme. Au niveau du sol, le pH initial du sol de surface a augmenté de plus 2 unités montrant un fort effet alcalinisant du produit. Les ETM sont restés en surface et n'ont pas été lixiviés en profondeur ou vers la rhizosphère.

Adaptation du modèle CANTIS pour la simulation de la minéralisation du carbone et de l'azote de produits résiduels organiques

J. Caubel¹, S. Houot¹, J. Doublet², P. Garnier¹

1. UMR 1091 Environnement et Grandes Cultures, INRA-AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon ; 2. Centre de Recherche sur la Propreté et l'Environnement, Veolia Environnement R&D, 78520 Limay

Le compostage des boues d'épuration avant leur épandage agricole est en plein essor. Il rend plus difficile la gestion de la fertilisation azotée après épandage en raison de la méconnaissance de la dynamique de minéralisation progressive de l'azote organique des composts, ce qui est le cas pour tous les autres composts. L'objectif du travail est de déterminer si la qualité biochimique de la matière organique déterminée par le fractionnement Van Soest, analyse requise dans les caractérisations réglementaires des composts en vue de leur utilisation agricole, permet de prédire les dynamiques de minéralisation du carbone et de l'azote de produits résiduels organiques (PRO). Une boue et deux composts issus du co-compostage de cette boue avec des déchets verts additionnés ou non de broyats de palettes de bois, ont été incubés dans un calcosol limoneux en conditions contrôlées de laboratoire (28°C, humidité équivalente à pF 2,8, pas de limitation en azote) pendant 3 mois. La minéralisation du C et du N ainsi que la taille de la biomasse microbienne ont été suivies pendant 3 mois dans des mélanges sol-PRO ou dans le sol témoin incubé seul. La distribution du C et du N dans les fractions biochimiques van Soest (composés solubles au détergent neutre, équivalent hémicellulose, cellulose et lignine) et dans une fraction soluble à l'eau froide SOL_{H2O} a été mesurée dans les 3 PRO. Ces données expérimentales ont été utilisées pour paramétrer le modèle CANTIS, modèle simulant la dynamique de C et N et de la biomasse microbienne dans un sol. Jusqu'à présent ce modèle a surtout été calibré pour simuler la décomposition des résidus végétaux. La MO du sol est subdivisée en biomasse microbienne et MO humifiée dont les caractéristiques sont calées sur la base des résultats du traitement témoin. Les apports de MO exogènes provoquent le développement d'une biomasse zymogène qui se transforme ensuite en MO humifiée. Le modèle CANTIS classique utilise les fractions Van Soest comme compartiments d'entrée d'une MO ajoutée. Tous ces compartiments de la MO exogène se décomposent en une fraction de MO soluble (initialement la fraction SOL_{H2O}) qui alimente la biomasse microbienne zymogène. Le CANTIS classique a dû être modifié pour simuler correctement les résultats expérimentaux obtenus avec les PRO. La fraction RDM (soluble au détergent neutre moins la fraction SOL_{H2O}) considérée comme facilement décomposable dans le cas des résidus végétaux est en fait plus récalcitrante à la dégradation dans le cas des composts. Cette modification de la nature chimique de cette fraction a été mise en évidence expérimentalement. Pour la boue, cette fraction doit être subdivisée en une fraction facilement dégradée mais pauvre en N représentant 77% de la fraction biochimique totale et 23% de composés riches en N mais récalcitrants à la biodégradation. Avec ces hypothèses, le modèle CANTIS décrit bien les cinétiques de minéralisation du C et du N des PRO.

Stockage et dynamique de la matière organique apportée en grande quantité dans les sols urbains reconstitués

Caubel, V. ⁽¹⁾, Vidal-Beaudet, L. ⁽¹⁾, Grosbellet, C. ⁽²⁾

*⁽¹⁾ Unité de recherche EPHor, AGROCAMPUS OUEST Centre d'Angers,
2 rue Le Nôtre, 49045 Angers Cedex, France*

⁽²⁾ Délégation générale de l'UNEP, 10, rue Saint-Marc, 75002 Paris

L'intérêt de l'apport fréquent de faible quantité de matière organique exogène a été largement démontré en milieu agricole. En milieu urbain, dans les fosses de plantation des arbres d'alignement, la terre végétale est le plus souvent mélangée à un matériau organique pour améliorer les propriétés agronomiques du sol. Il est incorporé, avant la plantation, à des taux allant jusqu'à 50 % du volume total du mélange. Dans ces conditions, on peut se demander si l'effet positif de l'incorporation de matière organique est proportionnel à la dose introduite, et comment cet effet évolue dans le temps. Les mécanismes de décomposition de la matière organique ne sont-ils pas prépondérants par rapport à ceux de la stabilisation ?

Pour répondre à cette question, et quantifier plus précisément l'effet de l'incorporation massive de matière organique sur les propriétés physiques du sol, nous avons mis en place en octobre 2004 un site expérimental à l'Institut National d'Horticulture, avec le soutien de l'ADEME. Les sols ont été reconstitués en 2 couches dans des bacs de 600L. La première couche (28 cm) est constituée d'un mélange de terre végétale avec un des trois produits organiques à tester (20% ou 40% en volume) : tourbe, compost de déchets verts et compost de boues et palettes. La deuxième couche (29 cm) est constituée uniquement de terre végétale sur 25 cm. Un témoin terre végétale seule a également été reconstitué. Plusieurs séries ont été réalisées, pour mesurer à 5, 12 et 24 mois après la mise en place, l'évolution de la matière organique (quantité, potentiel de minéralisation du carbone, fractionnement physique) et les propriétés physiques des sols (densité apparente, stabilité structurale, courbe de rétention, conductivité hydraulique à saturation).

Les résultats d'évolution de la matière organique montrent que la teneur en matière organique diminue au cours du temps du fait de l'activité biologique des micro-organismes. Cette activité se traduit par un fractionnement physique de la matière organique avec une diminution de la teneur en carbone dans les fractions grossières et une accumulation dans les fractions fines. Conjointement, des modifications importantes de la composition biochimique de la matière organique apparaissent : augmentation de la teneur en solubles et diminution de la teneur en lignine dans les fractions de matière organique les plus grossières. Pour les mélanges à base de compost, ces changements s'accompagnent rapidement d'une diminution du potentiel de minéralisation de la matière organique. Pour les mélanges à bases de tourbe, le potentiel de minéralisation évolue peu, puis augmente la deuxième année, ce qui pourrait correspondre à une levée d'inhibition de la dégradation de la matière organique.

Ces résultats montrent que l'activité microbienne s'est adaptée aux fortes quantités de matière organiques apportées et toute la matière organique facilement dégradable l'a été durant la première année avec des modifications qualitatives et quantitatives simultanées. Au cours de la deuxième année, les modifications de la matière organique sont surtout quantitatives et de faible amplitude et l'essentiel de la stabilisation par modification de la composition biochimique et/ou protection physique a été réalisé au cours de la première année.

Does compost and vermicompost allow a better retention of macronutrients and plant growth in degraded tropical soils?

Thu Thuy Doan, Pascal Jouquet, Thiet Van Nguyen, Tran Duc Toan, Cornelia Rumpel

Le très rapide développement économique du Vietnam n'est pas sans conséquence pour l'environnement. Soumis à une demande agricole de plus en plus importante, les sols s'acidifient, s'appauvrissent en éléments minéraux et organiques, s'érodent et ainsi polluent les eaux de surface et de nappe. Accompagnant le développement économique du pays, le développement de l'élevage des bovins peut entraîner de nouveaux problèmes environnementaux. Les déjections animales sont directement épandues sur les sols comme engrais, conduisant à une minéralisation rapide de la MO, une perte des éléments minéraux par lixiviation et érosion ainsi que le maintien dans les sols de parasites humains affectant les populations rurales. Dans ce cadre, la gestion systémique des stocks de matière organique au sein d'entités géographique limitées (le village, la commune, le bassin versant) et la fertilisation organique des sols apparaissent comme des alternatives crédibles, du point de vue économique, environnemental et sociétal.

De nombreux travaux ont porté sur la gestion des déchets provenant de l'élevage. Le compostage et le vermicompostage (formation de compost par l'activité de vers de terre du type « épigé ») apparaissent comme deux techniques permettant de fournir un engrais organique favorisant la croissance des plantes. Dans cette étude, nous avons comparé l'influence de ces deux substrats sur la croissance d'une plante, le liseron terrestre, par rapport à la même quantité d'engrais minéraux N:P:K. La quantité d'éléments dissous lixiviés a été suivie en continu et les propriétés bio-physico-chimiques étudiées à la fin des deux mois de l'expérience. Les résultats présentent une capacité du vermicompost à assurer la même productivité végétale qu'avec l'apport des engrais minéraux tout en assurant une faible lixiviation de l'N (moins de 10% pour les substrats organiques contre environ 40% pour la fertilisation chimique). Alors que les deux substrats organiques conduisent à une amélioration des propriétés des sols (augmentation du pH, de la teneur en MOS, de la teneur en N:P:K, et de la biomasse microbienne), l'amendement avec le compost est le moins intéressant sur le court terme car il entraîne la plus faible productivité végétale. Pour conclure, nous discuterons en quoi le vermicompost se différencie t'il du compost et quelles sont les raisons pour lesquelles le vermicompost est le substrat le plus intéressant pour la croissance des plantes et la rétention des éléments nutritifs dans les sols.

Compréhension des processus biologiques régissant le traitement par compostage des déchets organiques solides : étude des transformations de la matière organique lors de sa biodégradation

C. DRUILHE¹, L. BERTHE¹, C. MASSIANI²

¹ *Cemagref, Unité de recherche Gestion environnementale et traitement biologique des déchets, 17 avenue de Cucillé, CS64427, 35044 Rennes Cedex*

² *Laboratoire de Chimie et Environnement, Université de Provence, 3 place Victor Hugo, 13331 Marseille cedex 3*

Le contexte réglementaire actuel favorise le développement des voies de valorisation biologique des déchets organiques. Le compostage apparaît alors comme un traitement prometteur puisqu'il permet de transformer un déchet en un produit valorisable, le compost, qui peut être utilisé comme amendement ou engrais organique. Pourtant, le développement du compostage rencontre des difficultés car la conduite du procédé n'est pas toujours maîtrisée, ce qui peut entraîner des nuisances (émissions gazeuses, odeurs, poussières...) et une qualité agronomique incertaine des produits finaux obtenus. La nécessaire optimisation de la conduite des procédés de compostage s'appuie notamment sur une connaissance approfondie des processus de biodégradation aérobie de la matière organique des déchets. L'objectif de l'étude est dans le contexte précédent de (1) suivre des transformations de la matière organique d'un déchet lors de sa biodégradation aérobie, (2) quantifier les fractions de biodégradabilité variable, (3) identifier les principales étapes de biodégradation de la matière.

Ainsi 10 suivis respirométriques, avec mesure de la consommation d'oxygène induite par la dégradation aérobie de la matière organique présente, sont mis en œuvre sur une même matrice solide (mélange de boues d'épuration agroalimentaire et de copeaux de bois) dans des conditions opératoires contrôlées et favorables de température (40 °C), humidité (50 %) et aération (continue et homogène). Ces 10 suivis sont arrêtés à différents pas de temps respirométriques, compris entre 50 et 1200 h. Chaque matrice obtenue, considérée comme représentative d'un état spécifique de biodégradation, est caractérisée dans sa globalité et selon ses fractions solubles et non solubles. Des paramètres classiques (MS, MO, DCO, C...) sont considérés, ainsi que des paramètres plus spécifiques en ce qui concerne les fractions solubles (pH, conductivité, respirométrie liquide, glucides, protéines, acides aminés, fractionnement sur résine XAD suivi d'une étude par spectroscopie UV et spectrofluorimétrie des fractions d'hydrophobicité variable obtenues).

La comparaison des caractéristiques bio-physico-chimiques des matrices précédentes permet d'étudier les transformations de la matière organique lors de sa biodégradation en respirométrie. Ainsi, quatre périodes distinctes sont identifiées :

- La première période (0-50 h) est caractérisée par des vitesses de transfert de matière de la fraction non soluble la plus fine vers la fraction soluble supérieures aux vitesses de consommation au sein de la fraction soluble. Les analyses de la fraction soluble montrent le caractère totalement biodégradable et la composition variée de la matière transférée.
- La seconde période (50-100 h) est marquée par une consommation de la matière au sein de la fraction soluble plus importante que le transfert depuis la fraction non soluble. La matière transférée est plus difficilement biodégradable et on observe une augmentation de la complexité des molécules en solution.
- Les troisième et quatrième périodes (100-1200 h) sont caractérisées par un net ralentissement de la biodégradation, avec une matière soluble de plus en plus complexe et réfractaire. Des précurseurs de substances humiques apparaissent en dernière période.

Sur la base des résultats obtenus, des méthodes d'estimation du potentiel biodégradable des fractions organiques peuvent être proposées. L'utilisation de la respirométrie liquide sur fraction soluble est dans ce cadre identifiée comme une voie prometteuse pour la quantification de la matière organique facilement biodégradable au sein de la matière, mais aussi pour juger de la stabilisation biologique d'une matrice solide.

Valorisation des déchets urbains solides de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) : effet de la nature des substrats, de leur proportion sur la qualité chimique, biochimique et biologique des composts

Kaboré T.W.^{a,b}, Houot S.^c, Hien E.^{a,b}, Zombré N.P.^a, Masse D.^d

^{a.} *Université de Ouagadougou, UFR/SVT, 03 BP 7021 Ouagadougou 03*

^{b.} *Institut de Recherche pour le Développement, UR179 SeqBio BP182 Ouagadougou*

^{c.} *Institut National de la Recherche Agronomique, UMR EGC, B.P 01 78850 Thiverval-Grignon*

^{d.} *Institut de Recherche pour le Développement, UR179 SeqBio, IRD/LRI BP434 101 Antananarivo 1*

Une meilleure valorisation de déchets urbains solides (DUS) passe par une maîtrise de la nature des matériaux initiaux tropicaux, de l'effet de leurs proportions dans les mélanges initiaux et de la qualité des composts finaux obtenus. Ainsi, six composts ont été produits en fosse à partir des substrats les plus courants dans les DUS de la ville de Ouagadougou : i) les déchets verts (DV) constitués de feuilles sèches des arbres ; ii) les déchets de cuisine (DC) constitués de restes de choux, laitue, carottes ; iii) les déchets d'abattoir (DA) faits de rejets de panse d'animaux abattus ; et enfin (iv) le papier (P) usagé provenant du centre administratif. Les composts produits sont (les % sont en matière fraîche) : **DAc** (50% DA + 45% DV + 5% P) ; **DA+DC** (37.5% DA + 12.5% DC + 45% DV + 5% P) ; **DA+DC+** (30% DA + 20% DC + 45% DV + 5% P) ; **DA+DC-** (45% DA + 5% DC + 45% DV + 5% P) ; **DCc** (50% DC + 45% DV + 5% P) ; **DVc** (90% DV + 10% P). Ces substrats initiaux ainsi que les composts prélevés à 0, 4, 10 et 16 semaines de compostage ont été caractérisés par des analyses chimiques (C, N, pH), des analyses biochimiques et le suivi de la minéralisation du C et N au cours d'incubations au laboratoire pendant trois mois pour déterminer respectivement leur dynamique de stabilisation au cours du compostage et ses conséquences sur la disponibilité du N des composts.

Les DC sont les substrats initiaux les plus riches en N suivis des DA, puis viennent les DV et le P. Les C/N de ces substrats sont très variables et sont de 9 (DC), 15 (DA), 44 (DV) et 372 (P). Le temps de compostage ($p < 0.0001$) et le type de mélange ($p = 0.006$) influencent significativement l'Indice de Stabilité Biologique (ISB, norme XPU 44-162). La présence de DC (à 50%) permet de réduire de $\frac{1}{4}$ la quantité d'eau nécessaire au cours du compostage. De plus, ils permettent d'atteindre au bout de 16 semaines la meilleure stabilité du compost du fait de la présence de matière organique (MO) facilement dégradable ($ISB_{DC} = 0.14$) et d'une teneur plus importante en azote. Une proportion des DA $> 30\%$ dans le mélange initial induit une stabilité élevée de la MO au démarrage du processus de compostage, du fait de la nature plus ou moins évoluée de ce substrat suite à la digestion ($ISB_{DA} = 0.50$).

Le compostage permet la réduction de la minéralisation de C dans le sol, qui passe de 32-45% du COT dans les mélanges initiaux à 15-25% du COT dans les composts finaux après 91 jours d'incubation, excepté DVc. Le compostage de DVc nécessite un temps plus long pour la stabilisation de la MO à cause du manque de N. Toutefois, tous les composts montrent que le compostage conduit à un gain d'azote minéral ou à une réduction de l'immobilisation de N (en quantité et en durée), d'autant plus grands que la durée du compostage est plus importante. Composter les substrats organiques des DUS des villes Africaines serait une solution pour leur gestion et une voie de l'amélioration de la production agricole locale.

Mots clés : déchets urbains solides, compostage, indice de stabilité biologique, minéralisation, azote minéral, Burkina Faso.

Caractérisation des composts de déchets organiques. Effets à court terme sur la productivité et les propriétés géochimiques des sols reconstitués amendés.

Manel KAMMOUN RIGANE¹; Khaled MEDHIOUB² et Thameur MNIF¹

E-mail : manelriganekamoun@yahoo.fr

¹Département des Sciences de la terre, Faculté des Sciences de Sfax BP 802, Sfax 3018, Tunisie

²Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieurs de Sfax ; BP 805, Sfax 3018 - Tunisie.

Dans la partie sud de la Tunisie, les sols sont légers ayant des teneurs faible en matières organiques (0.5-1%). Pour les sols agricoles, un apport en fumier est assuré périodiquement pour maintenir leurs potentialités. Le développement rapide des cultures maraîchage et de l'horticulture est observé depuis une dizaine d'année augmentant ainsi les besoins en matières organiques et fertilisantes. Suite à cet accroissement les quantités de fumier produites sont donc considérées déficitaires pour répondre aux besoins des agriculteurs. Pour combler ce déficit les composts de déchets organiques sont proposés comme nouvelles ressources renouvelable. En fait, l'industrie agroalimentaire de la région génère annuellement des quantités importantes de déchets. Comme pour le cas de plusieurs pays méditerranéen, les industries de trituration d'huile d'olive génèrent des quantités importantes d'effluents (la margine) et solide (le grignon) avec des valeurs $1,5 \times 10^5$ tonne /an et $1,7 \times 10^5$ tonne /an respectivement. Les margines sont collectées et soumises à une évaporation naturelle produisant ainsi la pâte de margine. Le décorticage d'amande produit également des sous-produits solides dont les quantités sont estimées à 15×10^3 t/an de coques d'amandes sèches équivalente à 1×10^5 m³. L'industrie d'aviculture de son côté engendre environ 4×10^5 de fientes de volailles. Ces déchets sont caractérisés par des propriétés physicochimiques assai différentes mais comparables à celles du fumier une fois stabilisés par Co-compostage. Suite à l'évaluation des propriétés physicochimiques des déchets, le co-compostage des mélanges adéquats de ces résidus sont préparés en andains aérés par retournement.

Dans le présent travail, trois types des traitements sont préparés: des composts, des mélanges de composts et des mélanges compost/fumier. Cet essai est réalisé durant la période Avril-Octobre 2007 sous un contexte géographique: 34°46'N, 10°47'E, sur un sol sablo-limoneux, caractérisé par des teneurs très faible en matière organique, N, K et P. Les mélanges «traitement+sol», sont placés dans des bassins métalliques, de 40 cm de profondeur, utilisés comme horizon artificiel avec le ratio de 14 kg/m². Pour évaluer le potentiel de ces traitements organiques, 10 plantules de tomate sont placées sur chaque substrat. Les sols amendés au fumier sont utilisés comme témoins. Au cours de la phase de culture, l'irrigation est assurée par le système goutte à goutte sans fertigation. Les échantillons de sols sont prélevés à T0 (quelques jours après le démarrage de l'expérience), après 45 jours de culture et à la fin de l'expérience, pour les analyses géochimiques des sols. Les rendements des sols, le nombre total, le poids moyen ainsi que les teneurs en matières sèches des fruits sont déterminés pour chaque traitement. Les résultats ainsi obtenus montrent les effets bénéfiques des composts de déchets organiques notamment sur les propriétés physico-chimiques et la productivité des sols reconstitués amendés.

Contribution à la mise en place d'un protocole de lavage de lit filtrant de sable pour les eaux potable à l'échelle de laboratoire.

A. MAAZOUZI^{a,b}, A. KETTAB^a, B. ZAHRAOUI^c, R. KHALFAOUI^b, A. BADRI^b.

a Laboratoire de recherche des sciences de l'eau (LRS-EAU) EL HARACHE Alger 16000, Algérie. Email : maazdz@yahoo.fr

b Département de génie des procédés, Université de Béchar 08000, Algérie

c Laboratoire de phytochimie et synthèse organique (LPSO), Université de Béchar 08000, Algérie.

Résumé

Afin d'adopter les limites et la mise en place d'un protocole de lavage du lit filtrant à l'échelle de laboratoire et de vérifier si le filtre (sable) présente une altération à l'eau filtré, on a procédé à la détermination de l'absorbance en plusieurs longueurs d'ondes qui consiste à suivre son évolution dans le filtrat de lavage en fonction du temps, ce qui nous permet de tracer des courbes et d'évaluer la présence des particules lessivées durant une expérience.

Notre travail consiste à la mise en place d'un protocole de lavage avant la filtration à l'échelle de laboratoire de sable de dune (Erg occidental) de la région Sud Ouest Algérien dans le quel un suivie de l'absorbance de l'eau de lavage en fonction du temps est réalisé. Le but était de voir l'évolution de se paramètre et de prédire l'influence du lit filtrant sur la qualité du perméat.

Mots clés : Filtre à sable, temps de lavage, paramètres physiques.

Références

1. **Maazouzi.A;Kettab.A et Badri.A; 2007** «Etude de procédés de filtration sur sable de la région de Béchar en pré traitement de l'eau potable» Desalination 206 (2007) 358–368
2. **Maazouzi.A;Kettab.A et Badri.A; 2008** «Contribution à l'expérimentation de la filtration de l'eau potable en prétraitement dans quelques lits filtrants (sable) de la région de Bechar. » 4ème conférence internationale sur : les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen Mars 2008 Alger Watmed4.
3. **Maazouzi.A,Ketteb.A,Khalfaoui.R, Badri.A, Zahraoui.B, 2007**«Modélisation du procédé de prétraitement des eaux par filtration sur sable»Le Premier Colloque Maghrébin sur le Traitement et le Dessalement des Eaux (CMTDE) Tunis.

ORE PRO :
**Observatoire de la valeur agronomique et des impacts environnementaux
 des produits résiduels organiques recyclés en agriculture**

**A Michaud¹, G Bodineau¹, JN Rampon¹, P Cambier¹, P Benoit¹, P Vachier¹, Y Coquet¹,
 CS Haudin¹, D Montagne¹, M Le Villio-Poitrenaud², D Montenach³, P Valentin³, M
 Imhoff⁴, A. Schaub⁴, N. Valentin⁴, T Morvan⁵, S Houot¹**

*1. UMR Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon ; 2. VEOLIA
 Environnement Recherche & Développement, Centre de Recherche pour la Propreté et
 l'Energie, F-78520 Limay, France ; 3. INRA Colmar, Service d'Expérimentation
 Agronomique et Viticole, 68021 Colmar ; 4. Mission recyclage agricole du Haut Rhin, 68000
 Colmar ; 5. UMR Sol Agro et Hydrosystème Spatialisation, 35000 Rennes*

Le recyclage en agriculture des produits résiduels organiques (PRO), alternative à d'autres modes d'élimination, est pratiqué pour valoriser leur valeur agronomique (fertilisante, amendante) et environnementale (stockage du carbone, évitement d'autres impacts). Une telle pratique requiert néanmoins de développer des outils pour piloter leur gestion et d'évaluer les éventuels impacts sur l'environnement à long terme. Les observations faites pourront permettre des rétro-actions sur les traitements subis par les PRO avant leur apport au sol afin de minimiser leurs impacts et maximiser leurs valeurs agronomiques en fonction des contextes pédo-climatiques et agricoles

L'observatoire de Recherche en Environnement (ORE) PRO a pour objectif de caractériser la valeur agronomique des PRO et d'évaluer leurs éventuels impacts sur l'environnement via la mise en place d'essais au champ de longue durée. Plus précisément, l'ORE PRO a pour but : (i) de décrire les effets des PRO sur les caractéristiques et la dynamique des matières organiques (MO) des sols et leurs conséquences sur les propriétés des sols, (ii) interpréter ces effets par rapport à l'origine des PRO et aux caractéristiques de leur MO, en prenant en compte les traitements subis par les PRO avant épandage, (iii) comprendre et hiérarchiser les facteurs influençant le devenir des polluants organiques, minéraux et biologiques après apport des PRO aux sols et (iv) modéliser les effets des apports de PRO sur le fonctionnement physico-chimique du sol, le devenir des polluants, en prenant en compte leurs interactions.

Deux sites d'observation instrumentés ont été mis en place dans l'ORE PRO : (i) le site Qualiagro (Feucherolles, 78, France) implanté en 1998 en collaboration avec Veolia Environnement R&D, avec un essai de 6 ha testant différents composts d'origine urbaine et (ii) un site mis en place en 2000 à Colmar avec un essai de 2 ha testant différents PRO et l'effet du compostage sur les impacts observés. Les traitements organiques (incluant un témoin sans apport) sont croisés avec deux niveaux de fertilisation azotée (faible et optimal). Les PRO sont apportés tous les deux ans sur la base d'un apport identique de carbone organique à Feucherolles et d'azote total à Colmar pour tous les traitements. Les deux sites sont instrumentés pour suivre les données météorologiques (station météorologique complète, pluviomètre réfrigéré), le fonctionnement hydrodynamique des parcelles (sondes TDR, des tensiomètres et des sondes de température) et pour prélever la solution du sol pendant la saison hivernale (bougies poreuses et des plaques lysimétriques à mèche). Des analyses et mesures sont effectuées sur les compartiments clés du système cultivé (PRO, sol, plante, eaux de percolation, retombées atmosphériques).

Le réseau de sites expérimentaux instrumentés sera prochainement agrandi avec l'implantation d'un troisième essai à Rennes étudiant plus particulièrement les effluents d'élevage. Un réseau d'essais plus légers, conduits en partenariat avec des acteurs de la filière, sera par ailleurs intégré à l'ORE PRO pour obtenir des références régionales et plus diversifiées en terme de PRO épandus.

Les mesures effectuées sur les sites de l'ORE PRO étant mutualisées au sein d'une base de données relationnelles, BASEPRO, les données ainsi acquises seront accessibles aux scientifiques et professionnels (utilisateurs, traitement des déchets, gestionnaires) souhaitant exploiter les données, notamment en vue d'alimenter des modèles prévisionnels. D'autre part, les résultats seront intégrés dans des outils d'aide à la décision concernant la gestion des flux de MO développés au niveau de la petite région.

Apport des lombriciens à la valorisation des déchets organiques.

Ouahrani G*., Gheribi-Aoulmi Z & Chenouf S.***

* Lab. Ecologie Fac. des Sci. de la Nat. Et de la Vie. Univ. Mentouri. Constantine. DZ.

** Lab. Maths. Appli. et Modélisation. Fac. des Sci.. Univ. Mentouri. Constantine DZ.

Résumé

Un Essai de valorisation des déchets organiques générés par un restaurant universitaire (Med Essadik Ben Yahia, Constantine, Algérie) a été effectué en 2007.

Ces déchets sont utilisés sous deux aspects soit frais entiers ou frais découpés. Nous avons utilisé le compostage et le lombricompostage pour suivre l'évolution de la décomposition en lombricompost et en compost. Pour le lombricompostage nous avons utilisé *Eisenia fetida* comme espèce de vers de terre.

Les résultats ont montré que le pH tend vers l'alcalinité ce qui est favorable et n'agresse pas les vers de terre, le poids des déchets diminue au cours du temps ce qui indique que la décomposition se fait. En parallèle le nombre de vers de terre à augmenter et la présence de cocons nous indique qu'un métabolisme se produit avec augmentation de biomasse.

Par ailleurs les résultats du test de croissance a permis de tester le compost et lombricompost obtenu et nous avons pu déduire que le substrat est favorable pour la croissance des plantes.

Cette étude a permis de montrer que l'utilisation des déchets ménagers découpés est un milieu plus favorable pour la survie des lombriciens, et de leur reproduction et en outre facilite la décomposition en compost et lombricompost.

Mots clés : Biotechnologie, lombriciens, vers de terre, *Eisenia fetida*, déchets organiques, compostage, lombricompostage, biomasse, fertilité, plan d'expérience, ANOVA.

Utilisation du test de lixiviation comme un outil d'évaluation du potentiel de relargage de la matière organique contenue dans les déchets

Aurély PARODI¹, Geneviève FEUILLADE¹, Rudy NICOLAU¹ et Estelle REDON²

Université de Limoges, Groupement de Recherche Eau Sol Environnement, France

1- ENSIL, Parc d'Ester Technopôle, 16 rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex, France

Tel : +33 (0)5 55 42 36 70 Fax : +33 (0)5 55 42 36 62 Email : aurely.parodi@ensil.unilim.fr

2- Veolia Environnement Recherche et Développement, Zone portuaire de Limay, 291 avenue Dreyfus Ducas, 78520 Limay, France.

L'enfouissement des déchets ménagers et assimilés en centre de stockage est l'un des moyens d'élimination les plus utilisés en France. Sur les 26,1 millions de tonnes d'ordures ménagères produits aujourd'hui, 39% sont enfouis en installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND).

La réglementation française (arrêté consolidé de 1997) impose le suivi et le traitement des lixiviats et du biogaz produits au cours de l'exploitation de ces installations mais également lors des 30 ans de post exploitation. En outre, de nouvelles stratégies de gestion des déchets sont imposées au niveau européen notamment par la Directive Européenne du 26 avril 1999 (99/31/CE). Cette directive impose de diminuer les quantités de déchets biodégradables enfouis à l'échelle nationale de chaque pays européen.

La matière organique du déchet, matrice complexe et hétérogène, est mobilisée dans le lixiviat suite à des phénomènes de lixiviation et de lessivage. De plus, elle subit de multiples transformations qui en font un indicateur pertinent de l'avancement de la biodégradation du déchet.

Il est donc nécessaire de caractériser et d'évaluer la part de matière organique disponible et mobilisable en amont des installations de traitement (centre de stockage, méthaniseur) pour en comprendre et optimiser le fonctionnement, plus particulièrement en s'intéressant à l'évolution de la matière organique hydrosoluble.

Toutefois, il n'est pas vraiment possible d'évaluer sur site ce potentiel de mobilisation et de solubilisation ainsi que la proportion de matière organique réellement lixiviée par rapport à la quantité totale contenue dans le déchet.

L'utilisation de tests de lixiviation permet d'évaluer les émissions de polluants issus des déchets solides et d'en estimer leur mobilité (normes EN 12457/1-4). Ce test s'applique aux composés organiques mais fait l'objet de critiques sur sa fiabilité et sa capacité à traduire les phénomènes intervenant sur site. La norme conseille des ratios liquide/solide (L/ S) variables selon la granulométrie du déchet mais ne préconise pas des temps de contact variables et/ou un nombre défini de renouvellements de la solution pour évaluer la part de matière organique rapidement ou lentement mobilisable.

Ainsi, plusieurs essais de lixiviation ont été réalisés en respectant un rapport L / S de 10 et différents temps de contact : 24h, 48h, 4 jours, 7 jours et 14 jours avec ou sans renouvellement du liquide. Les déchets étudiés au cours des essais sont des déchets reconstitués dont la composition a été définie par la campagne nationale de caractérisation effectuée en France en 1993 (MODECOM, 1993) ; ils permettent donc de simuler un déchet français type. Les jus de lixiviation produits ont été caractérisés par le biais de paramètres physico-chimiques : pH, DCO et COD. Les macromolécules organiques contenues dans les lixiviats ont été caractérisées par fractionnement selon le caractère hydrophobe (rétention sur résines de type XAD) et selon la masse moléculaire apparente (ultrafiltration en mode diafiltration).

Ces tests permettent d'évaluer les conditions opératoires favorables à la mise en évidence de la présence dans le déchet de composés organiques hydrosolubles ou à l'inverse de macromolécules organiques lentement mobilisables. Les résultats de l'étude peuvent servir de référence pour le choix d'un prétraitement et aider à l'exploitation.

Paramétrage du modèle Roth C pour l'utilisation de Produits Résiduaire Organiques

C. Peltre ¹, S. Houot ¹, M. Martin ²

1 : UMR INRA / AgroParisTech EGC (Environnement et Grandes Cultures), 7850 Thiverval-Grignon

2 : US INRA InfoSol, 45075 Orléans

Chaque année, 300 millions de tonnes de produits résiduaire organiques (PRO) sont épandus en agriculture. Outre leur valeur fertilisante, ces PRO représentent une source de matière organique (MO) qui, dans les zones où l'élevage a disparu, pourrait compenser les baisses signalées comme une menace pour les sols au niveau européen. Pour optimiser la gestion de ces épandages, le paramétrage de modèles simulant à long terme la dynamique de la MO dans des scénarios d'apport de PRO est nécessaire.

Le modèle Roth C a montré sa robustesse à pouvoir simuler des situations ayant des modes de gestion agricoles différenciés à travers le monde. Il comporte trois compartiments de MO du sol: (1) HUM, MO humifiée de temps moyen de résidence (TMR) de 50 ans, (2) BIO, Biomasse microbienne de TMR de 1.5 ans et (3) IOM, MO inerte de TMR infini. Les apports organiques sont divisés en compartiments DPM, MO facilement décomposable de TMR de 1.2 mois et RPM, MO plus résistante à la biodégradation, ayant un TMR de 3.3 ans. Eventuellement, une partie des apports organiques peut être incorporée directement dans le compartiment HUM dans le cas d'apport de MO déjà très humifiée comme des fumiers ou composts. Notre objectif est de proposer des valeurs de taille de ces compartiments pour une gamme variée de PRO.

La répartition de la MO des PRO dans les compartiments d'entrée du modèle (DPM, RPM et HUM) a été calculée par ajustement sur les données de minéralisation du C de 80 PRO au cours d'incubations de longue durée (300 jours) en conditions contrôlées. Par ailleurs ces matières organiques ont été caractérisées par fractionnement biochimique (norme XP U 44-163). Une relation entre les paramètres du modèle estimés par calage sur les cinétiques de minéralisation et les caractéristiques analytiques de ces PRO est en cours de définition par la méthode de régression des moindres carrés partiels (PLSR) et sera présentée. L'évolution des teneurs en MO des sols sera simulée dans différents scénarios d'apports.

MESURE DES PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES SOLS ET ENGRAIS ORGANIQUES.

N.N. Simon, S. Générmont, L. Garcia, C. Labat, P. Garnier

UMR EGC, 78 850 Thiverval Grignon-France

De nos jours, un certain nombre de préoccupations sur la gestion de l'environnement portent les instances Européennes à se focaliser sur le mécanisme de la valorisation des déchets dans l'agriculture. Les conséquences dont ils peuvent être responsables via la volatilisation de l'ammoniac dans l'atmosphère nécessitent de bien quantifier leurs sources à travers, entre autres, une bonne détermination des propriétés hydrodynamiques des sols et des produits de fertilisation appliqués. La modélisation est le moyen privilégié d'intégration de cette quantification. Volt'Air (Générmont et al., 1997) est un modèle mécaniste qui a été développé à cette fin. L'objectif de ce travail était de voir dans quelle mesure la prise en compte de la modification des propriétés hydrodynamiques des sols par un apport de matières organiques exogènes, ici dans le cas du lisier, pouvait améliorer la description des transferts d'eau et de solutés dans le sol, et par voie de conséquence, la volatilisation. Nous avons caractérisé les propriétés hydrodynamiques (courbe rétention hydrique $h(\theta)$ et courbe de conductivité hydraulique $K(\theta, h)$) de différents substrats en utilisant la méthode Wind (W) et la presse de Richards (PR) dans le cas d'un sol non travaillé (SNT), d'un sol travaillé (ST), d'un sol avec lisier appliqué en surface (SLS), d'un sol avec lisier appliqué en surface et dont on a enlevé la fine pellicule résiduelle après infiltration (LEV), d'un sol avec lisier appliqué en surface et puis enfoui (SLE). Les résultats mettent en évidence une nette tendance du lisier à induire une augmentation de la rétention en eau pour un même potentiel hydrique et, dans une moindre mesure, de la conductivité hydraulique $k(\theta, h)$ du sol. La prise en compte de ces propriétés dans le modèle résulte en une volatilisation simulée plus forte car le lisier s'infiltré moins, et les échanges avec l'atmosphère sont favorisés. En parallèle, nous montrons que le travail du sol modifie moins les propriétés hydrodynamiques du sol, et que la prise en compte explicite de cet effet n'améliore que très légèrement les résultats de simulation de volatilisation. Enfin, nos résultats mettent en évidence qu'il sera difficile de prévoir les conséquences directes de la volatilisation des effets antagonistes de l'apport du lisier et du travail du sol sur $h(\theta)$ et $K(\theta, h)$.

Générmont S. UMR INRA-AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures

F-78850 Thiverval-Grignon

Tél : +33 (0)1 30 81 55 52

Fax : +33 (0)1 30 81 5 563

<http://www-egc.grignon.inra.fr/>

Valorisation des composts pour la plantation d'arbres en milieu urbain

Vidal-Beaudet, L. ⁽¹⁾, Caubel, V. ⁽¹⁾, Grosbellet, C. ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Unité de recherche EPHor, AGROCAMPUS OUEST Centre d'Angers,
2 rue Le Nôtre, 49045 Angers Cedex, France*

⁽²⁾ *Délégation générale de l'UNEP, 10, rue Saint-Marc, 75002 Paris*

Les déchets organiques urbains (déchets verts, boues de station d'épuration, ou la partie fermentescible des ordures ménagères) représentent près de 10% de la production nationale de déchets organiques. Le compostage de ces déchets permet de réduire les volumes et de stabiliser la matière organique. Il aboutit à la production d'un amendement organique, le compost (2,5 M de tonnes produit annuellement), valorisé en agriculture par des petits apports fréquents. La valorisation en horticulture urbaine, pour la production de plantes non destinées à la consommation humaine, est une nouvelle voie de recyclage des composts. En effet, les sols urbains sont soumis à de fortes contraintes mécaniques qui limitent le développement de la végétation arborée. Afin d'améliorer les propriétés agronomiques de ces sols, la terre végétale est le plus souvent mélangée à un autre matériau organique ou minéral, incorporé en une seule fois, à des taux allant jusqu'à 50 % du volume total du mélange. Dans ces conditions, on peut se demander si l'effet positif de l'incorporation de matière organique est proportionnel à la dose introduite, et comment la matière organique en se minéralisant peut maintenir de bonnes propriétés agronomiques favorables au développement racinaire.

En octobre 2004, un site expérimental a été mis en place à l'Institut National d'Horticulture, avec le soutien de l'ADEME. Quarante neuf bacs de 600L ont été remplis avec deux couches. La couche de profondeur (25-45 cm) est constituée uniquement de limon sableux. La couche de surface (0-25 cm) est enrichie avec de la matière organique en proportion 20 ou 40 v/v. Trois produits ont été testés : compost de déchets verts, compost de boues et palette et, tourbe. Des bacs témoins de limon végétal seul ont également été constitués. Vingt et un bacs ont été plantés avec des charmes houblons (*Ostrya Carpinifolia* Scop) afin d'étudier leur développement racinaire. Deux ans après la plantation, la masse volumique apparente, la perméabilité de surface et le développement racinaire (masse totale de racine, nombre de racine fines et distribution) ont été mesurés dans les bacs avec et sans arbre. L'impact du développement racinaire sur les propriétés physiques a aussi été étudié.

La matière organique mélangée au limon sableux a des effets significatifs sur les propriétés physiques du sol en diminuant la masse volumique apparente et en augmentant la perméabilité de surface (compost déchet vert > compost de boues et palettes > tourbe > témoin). Parallèlement à l'amélioration des propriétés physiques, la matière organique augmente dans la première couche la masse totale de racines et la quantité de racines fines (<1mm) qui sont actives lors de l'adsorption racinaire (compost déchet vert > compost de boues et palettes > tourbe = témoin). Au bout de deux ans, la couche de profondeur avec un nombre de racines très faible ne paraît pas favorable au développement racinaire. Dans tous les bacs, le développement racinaire n'a pas d'incidence sur les propriétés physiques du sol situé à proximité de la rhizosphère. En effet, il n'y a pas de différence significative des valeurs de masse volumique apparente et de perméabilité pour les bacs avec et sans arbres.

Globalement, la matière organique améliore les propriétés physiques et le développement des racines fines mais au bout de 2 ans les racines ne semblent pas influencer les mesures physiques. De nouvelles mesures seront réalisées 5 ans après la plantation afin de mieux étudier le rôle du développement racinaire sur la structuration du sol.

Evaluation des performances d'une unité de traitement des ordures ménagères par tri mécano-biologique

Ph. Wavrer¹, J. Villeneuve¹, H. Védrine², Ph. Thauvin³, J-L Lambeaux², E. Bellon⁴
¹BRGM, ²Treize Développement, ³ADEME, ⁴CoVe

Les procédés de tri mécano-biologique (TMB) des déchets, récents en France et dont on peut souligner le caractère encore expérimental et par conséquent perfectible, sont encore peu utilisés par les collectivités territoriales françaises. La communauté d'agglomération Ventoux-Comtat Venaissin (CoVe) est une des intercommunalités qui a fait le choix de gestion de ses déchets ménagers par la mise en oeuvre d'une unité de TMB. Compte-tenu du caractère novateur de ce type de démarche à l'échelle nationale, l'ADEME est sollicitée pour donner son avis sur ce mode de traitement des déchets. Dans ce cadre, elle a mis en oeuvre un programme d'évaluation des performances des premières installations en fonctionnement sur le territoire.

Les auteurs impliqués dans l'expertise de l'unité de la CoVe présentent les caractéristiques de cette installation, la méthodologie d'évaluation mise en oeuvre et les principaux enseignements de ce type de démarche au regard des performances de traitement, notamment de la fraction organique

Il apparaît ainsi d'une part, qu'une proportion importante des déchets entrants contenant de la matière organique (en particulier de matière organique non synthétique - MONS) est envoyée après criblage en centre d'enfouissement, sans avoir été suffisamment stabilisée. L'efficacité du procédé étudié, en termes de tri et de récupération de la MONS à destination de la stabilisation, peut donc être largement améliorée.

D'autre part, il s'avère que la maturation des déchets semble trop courte et pas assez optimisée pour qu'elle aille jusqu'à son terme et permette ainsi une évolution suffisante des ordures avant enfouissement. La CoVe vient d'engager une réflexion visant notamment à mieux contrôler les paramètres de la phase de dégradation (en particulier la durée de maturation).

Les auteurs tirent ensuite les limites de l'approche d'évaluation elle-même et rappellent, le besoin de resituer contextuellement les résultats obtenus et la prudence de rigueur pour une extrapolation à des configurations d'unités et des conditions de fonctionnement différents. Une attention méthodologique particulière est mentionnée quant à la distinction à opérer entre les aptitudes du procédé lui-même, la conception et l'exploitation des unités.

Enfin est mentionné le besoin de compléter les travaux réalisés en favorisant la recherche sur l'évaluation des performances environnementales de telles technologies en particulier pour ce qui concerne le cycle de la matière organique, en considérant dans la démarche la notion d'« environnement global » en amont et en aval des installations elles-mêmes.

Session 5

Oral

Élaboration et validation d'une méthodologie LC-IRMS pour la détermination de $\delta^{13}\text{C}$ des sucres aminés dans le sol.

Samuel Bodé*, Karolien Deneff, Jan Vermeulen and Pascal Boeckx

Laboratory of Applied Physical Chemistry, Ghent University, Belgium,

Résumé:

Dans le contexte du réchauffement global, la compréhension des mécanismes de séquestration de carbone (C) dans les sols est d'importance croissante, pour cela une meilleure connaissance de la biogéochimie du C du sol est indispensable. Les parois cellulaires des bactéries, des mycètes et des actinomycètes sont partiellement constituées de sucres aminés (SA), qui peuvent être employés en temps que bio-marqueurs pour la nécromasse microbienne. La concentration relative et absolue des SA dans le sol, ainsi que leur $\delta^{13}\text{C}$ peuvent être employés pour caractériser les communautés microbiennes du sol, leur vitesse de décomposition et donc leur contribution à la séquestration de C dans le sol.

À cet effet l'élaboration de méthodes d'isotopie moléculaire pour la détermination du $\delta^{13}\text{C}$ des SA spécifique est essentielle. Plusieurs méthodes GC-c-IRMS ont été décrites dans la littérature. Bien que ces méthodes aient été utilisées avec un certain succès dans des études biogéochimiques, la variabilité sur le $\delta^{13}\text{C}$ est trop élevée pour déterminer correctement la stabilité de ces composés dans le sol. L'incertitude sur les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ enregistré est partiellement induite par le procédé de dérivation des SA, nécessaire pour la séparation chromatographique. Cette incertitude peut être attribuée à l'incertitude sur le $\delta^{13}\text{C}$ du produit de dérivation et sur le rendement et le fractionnement ^{13}C probable pendant la réaction de dérivation. Une méthode HPLC-IRMS, qui n'inclut pas d'étape de dérivation, pour la détermination du $\delta^{13}\text{C}$ SA présent dans le sol, a été développée et validée. La méthode chromatographique comporte deux systèmes isocratique, utilisant la même colonne d'échange anionique, un pour les SA basiques (glucosamine, galactosamine et mannosamine) et un pour les SA acides (acide muramic) avec un écart moyen sur le $\delta^{13}\text{C}$ déterminé de 0.5 ‰.

Une estimation de la stabilité des précurseurs des SA dans le sol, calculée à partir du $\delta^{13}\text{C}$ de SA extrait de sol avec un changement dans l'apport de ^{13}C (changements de végétation C3-C4 et expérience FACE), sera présenté.

* Correspondence: Samuel.Bode@UGent.be

Etude des interactions Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) – Matière Organique Dissoute (MOD) aquatique par Micro-Extraction sur Phase Solide (SPME) et extinction de fluorescence

Chloé DE PERRE, Karyn LE MENACH, Fabienne IBALOT, Hélène BUDZINSKI, Edith PARLANTI

Université Bordeaux 1 ; CNRS ; UMR 5255 ; ISM-LPTC, 351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex, France

La matière organique dissoute (MOD), qui est un mélange complexe de macromolécules, peut influencer le comportement et le devenir des contaminants organiques et inorganiques. En effet, la MOD peut s'associer aux contaminants et ainsi modifier leur distribution dans l'environnement aquatique, mais aussi leur biodisponibilité, leur biodégradation et même leur toxicité envers les organismes aquatiques. Il est donc nécessaire d'étudier les interactions qui peuvent avoir lieu entre les contaminants et la MOD afin de mieux appréhender l'influence de cette dernière vis-à-vis des contaminants organiques. A l'heure actuelle, peu d'études ont été réalisées sur les interactions entre la matière organique des eaux de surface et les contaminants organiques. Ceci est dû d'une part à la difficulté d'extraction de la MOD, et d'autre part, à la difficulté d'analyser les contaminants organiques associés à la MOD, présents généralement à l'état de traces, sans perturber l'équilibre des interactions. Parmi les contaminants organiques les plus présents dans l'environnement, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) forment une grande classe de composés hydrophobes dont certains présentent une toxicité avérée pour les organismes aquatiques. Dans cette étude, quatre HAP modèles (phénanthrène, fluoranthène, chrysène, benzo[a]pyrène) ont été choisis pour leurs différentes hydrophobicités ($\log K_{OW}$ de 4,6 à 6,0) et toxicités.

Le but de cette étude est de développer une technique fiable qui permette la quantification rapide des concentrations en contaminants à la fois libres et associés à la MOD sans perturber les équilibres : la microextraction sur phase solide couplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la spectrométrie de masse (SPME-GC-MS). La SPME est constituée d'une fibre en polymère qui est plongée dans l'échantillon et seuls les contaminants libres ayant une affinité avec le revêtement de la fibre sont extraits. Cette dernière est ensuite désorbée thermiquement dans l'injecteur du GC-MS pour l'analyse. Une série de tests a été faite pour optimiser les paramètres (revêtement, temps d'extraction...) en utilisant de l'acide humique Aldrich dissous pour modéliser la MOD.

Les résultats préliminaires montrent que le revêtement de la fibre en polydiméthylsiloxane (PDMS) donne la meilleure efficacité avec un temps d'analyse de seulement une heure par échantillon, de bonnes limites de détection (généralement inférieures à 5 ng/L) et d'assez bonnes reproductibilités (variabilités inférieures à 25% et améliorées à 5% avec l'usage d'étalons internes). Afin de valider cette technique, il est apparu intéressant de la comparer à la technique dite d'extinction de fluorescence qui est basée sur l'extinction de la fluorescence des HAP lorsqu'ils s'associent à la MOD. Cette comparaison a permis de mettre en relief les avantages de la SPME (analyse d'échantillons naturels aisée, sensibilité, sélectivité...) mais aussi la complémentarité de l'extinction de fluorescence (interactions faibles plus facilement détectées). Les constantes d'association MOD-HAP (K_{DOC}) calculées par les deux techniques sont cohérentes entre elles et dans la même gamme que celles de la littérature. Ces deux techniques apparaissent donc comme de bons outils complémentaires et adaptés à l'étude des interactions entre les HAP et la MOD dans les environnements aquatiques complexes. La SPME-GC-MS apparaît comme une méthode d'intérêt général pour l'étude des interactions contaminants organiques – MOD. Elle pourra être appliquée à de nombreuses classes de contaminants organiques contrairement à l'extinction de fluorescence qui restreint le champ d'application.

Molécules organiques fossiles issues de la biominéralisation pour la cosmétologie et/ou pharmacologie

Aurore DISSAUX¹, Xavier BOURRAT¹ et Evelyne LOPEZ²

¹ *ISTO, Université d'Orléans/CNRS/Université François Rabelais-Tours (UMR 6113),
Campus Géosciences 1A rue de la Férollerie 45072 Orléans Cedex 2*

² *Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 5178, « Département, Milieux et Peuplements
Aquatiques », 7 rue Cuvier, Paris F-75231*

Ce travail s'inscrit dans une nouvelle thématique environnementale s'intéressant aux relations existantes entre « Environnement, Géochimie et Santé ». L'étude porte sur des fossiles de la carrière d'Orgon (Bouches-du-Rhône), « des rudistes » du Crétacé inférieur (110 millions d'années), dont la coquille est issue de la biominéralisation, un processus que la vie a élaboré et maîtrisé pour développer les tissus minéralisés comme les coquilles, les dents ou les os. Intégrés au sédiment, les éléments squelettiques et la matière organique subissent et enregistrent les processus diagénétiques et taphonomiques en même temps que le sédiment, ce qui altère les signaux biologiques.

Des études ont été menées sur la préservation de la matière organique des calcaires à faciès Urgonien du bassin Vocontien et il a été montré par Machhour L. et al. (1998) que « sédimentologie, géochimie et paléocéologie montrent que les carbonates riches en COT reflètent des conditions anaérobiques favorables pour la préservation de la matière organique. Le taux d'oxygène dissout étant plus bas que le seuil de dégradation de la matière organique ». La microscopie photonique en fluorescence ainsi que les microscopies électronique à transmission (MET) et à balayage (MEB) nous ont permis d'attester de la présence de matrice organique résiduelle au sein des coquilles fossiles. Grâce à l'apport de la cathodoluminescence, nous avons pu reconstruire le processus diagénétique subi par les coquilles d'Orgon : à l'origine, ces rudistes possédaient une coquille composée d'une couche interne aragonitique et une couche externe calcitique à faible teneur en magnésium (LMC). La couche prismatique externe a été préservée, ne souffrant que d'une recristallisation centripète (LMC), alors que la partie aragonitique de la coquille a été complètement dissoute puis a recristallisé de façon centripète en calcite et ceci en plusieurs temps. Le reste de la coquille a été rempli par de la micrite.

La matrice organique encore présente au sein de l'échantillon a été extraite. Des études de spectroscopies infra-rouge ont permis une première caractérisation de cette matière organique représentant 0.9% de l'échantillon. Une étude de la fraction protéique d'Orgon a été menée en utilisant une technique d'électrophorèse, le Sodium-Dodecyl-Sulfate PolyAcrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) : nous avons pu identifier plusieurs protéines au sein de nos diverses extractions. Des tests concernant la potentialité active de ces molécules fossiles vont être menés. Le but étant ensuite de purifier et d'identifier la ou les molécules responsable(s) du principe actif en suivant une démarche classique de recherche des principes actifs naturels.

**La spectrométrie de masse haute résolution (Q-TOF)
appliquée à la géochimie organique :
mises au point pour l'analyse des micropolluants dans des matrices complexes**

Thierry GHISLAIN, Pierre FAURE, Coralie BIACHE, Raymond MICHELS
UMR 7566 G2R CNRS, Faculté des Sciences, BP236, 54501 vandoeuivre-lès-Nancy, France

La spectrométrie de masse haute résolution est une technique qui a connu une fulgurante ascension ces dix dernières années, ses derniers développements ayant permis de compléter le champ d'application limité de la GC-MS (Gas Chromatography – Mass Spectrometry) en terme de gamme de masse et de résolution. Combinée à des techniques d'ionisation douce il est aujourd'hui possible d'envisager de détecter des composés cibles dans des matrices complexes en solution, comme les acides humiques ou les matrices bitumineuses. Le rôle de ces matrices dans le transfert ou la fixation de micropolluants pourrait ainsi être éclairci.

Cependant, la spectrométrie de masse haute résolution a été mise au point principalement dans le but d'élucider des structures protéiques dans le cadre des recherches en protéomique. Concernant l'analyse de matrices organiques naturelles, une majorité de publications concerne l'élucidation structurale d'asphaltènes de pétroles.

La détection de micropolluants dans les matières organiques des sols, eaux et sédiments nécessite donc des mises au point et des tests. Nous présentons l'avancée de nos recherches dans ce domaine.

Nous nous sommes ainsi intéressés à la détection des HAPs dans des goudrons de charbon et à leur comportement lors d'expériences d'oxydation. Plusieurs types de sources d'ionisation ont été testées, avec ou sans adjonction de réactifs d'ionisation. Ainsi, l'ionisation photochimique à pression atmosphérique (APPI) autorise la détection des composés peu ou totalement apolaires comme les hydrocarbures polycycliques (HAP). L'ionisation électrospray (ESI) permet, quant à elle, la détection de molécules plus polaires et de plus grand poids moléculaires (homologues azotés et oxygénés des HAP, par exemple).

Nous avons aussi testé la stabilité des composés organo-métalliques dans la source d'ionisation ESI, seuls et en mélange dans les matrices asphalténiques.

Ainsi, la spectrométrie de masse haute résolution permettra d'améliorer la détection des composés organiques et organométalliques dans les matrices organiques complexes qui jusqu'à présent échappaient à ce type d'analyses. L'objectif est de suivre le devenir des micropolluants lors de leurs transferts entre les phases aqueuses, organiques mobiles et solides.

Caractérisation de la matière organique de différents déchets solides par spectrofluorimétrie 3D en phase solide

Muller Mathieu ^a, Dudal Yves ^a, Deleris Stéphane ^b et Steyer Jean-Philippe ^{c,*}

^a INRA, UMR 1222, Biogéochimie du Sol et de la Rhizosphère, 2 Place Pierre Viala, Bâtiment 12, Montpellier cedex 2, F-34060, France

^b Veolia Environnement R&D, Centre de Recherche sur l'Eau, Maisons-Laffitte, F-78603, France

^c INRA, UR050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Avenue des Etangs, Narbonne, F-11100, France

* steyer@supagro.inra.fr

La spectrofluorimétrie 3D en phase liquide a été utilisée avec succès pour caractériser la matière organique (MO) dissoute des eaux naturelles et usées (Hudson *et al.* 2007), les substances humiques extraites de sédiments (Sierra *et al.* 2005) ou les substances polymériques extra-cellulaires extraites de boues activées (Sheng *et al.* 2006). Cependant, la fraction soluble des déchets solides ne représente qu'un faible pourcentage de leur MO totale. De plus, la caractérisation de cette MO et l'évaluation de sa biodégradabilité nécessitent la mise en place d'analyses physico-chimiques et de tests en laboratoire lourds et coûteux. La spectrofluorimétrie en phase solide (SPF), déjà utilisée dans le domaine pharmaceutique (Moreira *et al.* 2005), couplée au mode 3D, pourrait constituer un moyen rapide et économique pour caractériser la MO de solides complexes, tels que les déchets solides. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le potentiel de cette technique pour acquérir des spectres de fluorescence caractéristiques de la MO de solides modèles simples et réels complexes.

La faisabilité d'obtention des spectres en SPF a été éprouvée sur deux solides modèles simples que sont le Tryptophane (Trp) et la Sérum Albumine Bovine (BSA). Des diluants solides on également été sélectionnés pour atténuer la fluorescence des échantillons analysés. Par la suite, l'acquisition des spectres de fluorescence de différents solides réels complexes a été pratiquée. Ces solides comprenaient des déchets ménagers types, des fractions fermentescibles d'ordure ménagère, des produits alimentaires, des boues d'épuration, des composts, des déchets verts et des sols. Les solides ont été lyophilisés, tamisés à 1 mm, puis finement broyés au mortier. La dilution du solide à analyser se fait par pesée et le mélange est agité mécaniquement, durant un temps déterminé, afin d'en garantir l'homogénéité. Un échantillon du mélange ainsi préparé est prélevé et introduit dans la cellule de mesure. La mesure se fait en surface grâce à un spectrofluorimètre (Perkin Elmer LS55) équipé d'un module spécifique pour les solides.

Parmi les diluants testés, le carbonate de sodium et le lactose se sont révélés être les meilleures substances en raison de leur quasi-absence de fluorescence pour des longueurs d'onde d'excitation supérieures à 220 nm. L'obtention du spectre de fluorescence du Trp et de la BSA, dilués de manière appropriée dans du carbonate de sodium, s'est révélée possible et quantitative ; des droites étalons ayant pu être établies. Pour les solides complexes réels, l'acquisition de spectre de fluorescence est apparue plus ou moins évidente en fonction de leur nature. Dans les cas où l'obtention de spectres était possible, tel que pour les déchets ménagers types, la linéarité de la réponse a été testée. Dans les autres cas, des hypothèses expliquant la limite de la méthode ont été formulées et testées. Parmi ces hypothèses, nous avons retenu les effets d'auto-quenching, de quenching, d'absorption du rayon incident d'excitation et de protection des photophores dans des structures chimiques complexes.

La spectrofluorimétrie 3D en phase solide permet d'obtenir des spectres de fluorescence caractéristiques de la MO de solides modèles simples et réels complexes. Ces spectres pourraient notamment être utilisés pour prédire la biodégradabilité de déchets solides au cours de leur traitement et valorisation ou bien l'impact de ses déchets sur l'environnement, par exemple, lors de leur épandage sur des sols agricoles ou de leur enfouissement.

Hudson, N., Baker, A. and Reynolds, D. (2007). Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters - A review. *River Research and Applications*, 23 (6): 631-649.

Moreira, A.B., Dias, I.L.T., Neto, G.O., Zagatto, E.A.G., Ferreira, M.M.C. and Kubota, L.T. (2005). Solid-phase spectrofluorimetric determination of acetylsalicylic acid and caffeine in pharmaceutical preparations using partial least-squares multivariate calibration. *Talanta*, 67 (1): 65-69.

Sheng, G.P. and Yu, H.Q. (2006). Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anaerobic sludge using three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy. *Water Research*, 40 (6): 1233-1239.

Sierra, M.M.D., Giovanela, M., Parlanti, E. and Soriano-Sierra, E.J. (2005). Fluorescence fingerprint of fulvic and humic acids from varied origins as viewed by single-scan and excitation/emission matrix techniques. *Chemosphere*, 58 (6): 715-733.

Caractérisation fluorimétrique semi-directe de la matière organique dissoute: application à la détermination des AGV et des composés thiols dans les boues de station d'épuration et les lixiviats de décharge

Palacio-Barco, E.¹, Robert-Peillard, F.¹, Boudenne J.L.^{1*}, Dudal, Y.², Coulomb, B.¹

1. Aix-Marseille Universités - CNRS, Laboratoire Chimie Provence – UMR6264, Equipe « Chimie de l'Environnement Continental », 3 place Victor Hugo – case29. 13331 Marseille cedex 3. FRANCE. Phone : (+33) (0)491106140 Fax : (+33) (0)491106377. E-mail : edwin.palacio-barco@etu.univ-provence.fr/ bruno.coulomb@univ-provence.fr

2. INRA-SupAgro, Laboratoire Biogéochimie du Sol et de la Rhizosphère – UMR1222, 2 place Viala, Bâtiment 12. 34080 Montpellier cedex 2. FRANCE. Phone : (+33) (0)499612099 Fax : (+33) (0)499613088. E-mail : yves.dudal@montpellier.inra.fr

**Contact : jean-luc.boudenne@univ-provence.fr*

A ce jour, la nature des composés organiques dissous (généralement regroupés sous le terme intégratif de Carbone Organique Dissous, COD) est limitée à une semi-spéciation permettant de déterminer la teneur en composés hydrophiles et hydrophobes (séparation sur résines macroporeuses par filtration de gel puis par ultrafiltration), à estimer un indice d'humification ou, dans le meilleur des cas, en différentes fractions réalisées par extractions séquentielles sur résines ioniques ou non ioniques permettant de définir des teneurs en composés plus ou moins biodisponibles suivant les extractants utilisés. En aval de ces étapes d'extraction, une caractérisation des groupements fonctionnels est parfois réalisée dans le domaine du proche infrarouge (PIR), par Résonance Magnétique Nucléaire du carbone (RMN-C¹³) ou par Pyrolyse couplée à la Chromatographie en phase Gazeuse et détection par Spectrométrie de Masse (Pyr-CG-SM.).

Afin de caractériser la réactivité et le devenir de ces composés dans l'environnement (eaux, sols, déchets), il est nécessaire de prendre en compte la nature des groupements fonctionnels présents dans ces composés, et, si possible, d'identifier et de quantifier plus précisément certaines molécules.

Les résultats présentés ici concernent le développement d'une méthode analytique fiable, robuste et rapide capable de quantifier et d'identifier les AGV (Acides Gras Volatils : acides acétique, propionique, butyrique) et les composés thiols dans des matrices environnementales complexes (boues de station d'épuration, lixiviats de décharge, ...). Cette méthode évite l'utilisation des techniques chromatographiques -inadaptées pour des mesures sur site- par l'utilisation d'une réaction de dérivaison spécifique avec les molécules carboxyliques et thiols ciblées.

Pour l'identification des composés thiols, une réaction de dérivaison avec l'OPA (o-phthaldialdéhyde), en présence d'aminoéthanol, permet de former un dérivé fluorescent (isoindole), quantifiable et spécifique. La méthode analytique développée permet d'analyser des composés tels que le glutathion, la cystéine, le 3-mercaptoéthanol, l'acide 3-mercaptopropionique, la N-acétyl-cystéine, l'acide thioglycolique, ...) et d'exprimer les résultats en équivalent-glutathion. La méthode a également été étendue aux composés à ponts disulfures.

Pour l'identification des AGV, les groupements carboxyliques subissent une réaction d'amidation, et le produit résultant est quantifié par spectrofluorimétrie ($\lambda_{\text{ex}} = 335 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{em}} = 396 \text{ nm}$) et quantifié en équivalent-acide acétique.

Ces méthodes ont été validées par comparaison avec les méthodes standard de dosage de ces composés, et appliquées à des échantillons environnementaux d'origines diverses.

A terme, ces méthodes seront automatisées et miniaturisées sous la forme de tests rapides disponibles sur microplaques.

Remerciements: *Edwin Barco-Palacio bénéficie d'une bourse de recherche du Ministère des Affaires Etrangères. Fabien Robert-Peillard a pu bénéficier d'une bourse de post-doctorat de l'ADEME. Cette étude est financé par l'ANR, l'ADEME et le Conseil régional PACA.*

RPE et Matière Organique Naturelle (MON): traçage des flux et de la réactivité de la MON sur de larges échelles d'espace et de temps.

B. Pépin-Donat¹, C. Lombard¹, M. Protière¹, J. Poulenard², J.-M. Dorioz², B. Mourier², Y. Dudal³, T. Blondel³, C. Emblanch³, B. Franget⁴, Yves Perrette⁴, J.-J. Delannoy⁴, C. Miège⁵

1-Laboratoire LEMOH/UMR SPrAM 5819 (CEA/CNRS/Univ. J. Fourier), 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9, France.

2 -UMR A42 CARRTEL (INRA/Univ.de Savoie), Campus Technolac 73375 Le Bourget du lac, France.

3- INRA - UMR Climat Sol Environnement, site Agroparc 84914 AVIGNON cedex 9, France.

4-UMR 5204 EDYTEM (CNRS / Univ.de Savoie), Campus Technolac 73375 Le Bourget du lac, France.

5-Unité de Recherche Qualité des Eaux et Prévention des Pollutions - CEMAGREF LYON, 3 bis quai Chauveau, CP 220 69336 Lyon Cedex 9, France.

La structure, la réactivité et la dynamique de la Matière Organique Naturelle (MON) présente dans les sols et dans les eaux jouent un rôle important dans de nombreux processus tels que le cycle des nutriments au sein des écosystèmes terrestres et aquatiques, le devenir des toxiques organiques et inorganiques ou encore la dégradation des sols. Par ailleurs, les Matières Organiques des sols constituent une large réserve de carbone qui peut selon les conditions intervenir comme source de gaz carbonique ou piège à carbone. L'étude des transferts et de la réactivité de la Matière Organique Naturelle à grande échelle d'espace et de temps est donc d'un intérêt important dans le contexte de la gestion environnementale à l'échelle 'humaine' que représente l'échelle des bassins versants.

Les méthodes de traçage sont bien adaptées à de telles études qui concernent de larges gammes de structures et qui couvrent de grandes échelles d'espace et de temps. Nous présentons ici une méthode de traçage originale par spectroscopie de Résonance Paramagnétique Electronique qui consiste :

-à caractériser les divers grands types de structures chimiques présents dans la Matière Organique étudiée en observant (à l'échelle microscopique) les radicaux libres qui y ont été piégés pendant les processus de transformation (humification).

-à étudier leur devenir au sein du bassin versant (aqua-disponibilité, temps de séjour, réactivité vis-à-vis de bio ou chimio réactifs....) jusqu'à l'exutoire.

Nous montrons

- ✓ Que les signatures de RPE la Matière Organique des 'sources' (les sols) sont très discriminantes car sensibles à de nombreux facteurs tels le type de couverture végétale, la lithologie, les conditions pédologiques (horizons)
- ✓ Que le traçage par RPE permet l'étude des transferts de MON entre systèmes terrestres et aquatiques
- ✓ Que le traçage par RPE permet l'étude des transferts de MON au sein de bassins versants très différents.
- ✓ Que ce traçage est possible au sein des enregistreurs naturels (sédiments, stalagmites), ouvrant la voie à l'étude des paléo-environnements.

Ces résultats montrent l'important potentiel de cette méthode de traçage par RPE.

¹ Brigitte.pepin-donat@cea.fr

Impact quantitatif et qualitatif des feux de forêt sur les substances humiques du sol

Aurore Vergnoux^{1,2*}, Mariane Domeizel¹, Robert Di Rocco¹, Michel Guiliano², Frédéric Théraulaz¹ et Pierre Doumenq²

¹Université de Provence Aix-Marseille 1. LCP. FRE 2704.

3 pl. Victor Hugo – Case 29, 13331 Marseille Cedex 3 France.

²Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3. ISM2, UMR 6263, équipe AD²EM, FR ECCOREV.

Europole de l'Arbois. Bâtiment Villemin BP 80. 13545 Aix-en-Provence Cedex 4 France.

**aurore_vergnoux@hotmail.com*

La répétition des feux de forêt peut engendrer des effets quantitatifs et qualitatifs à long terme sur la matière organique des sols. Par ailleurs, un grand nombre de propriétés importantes du sol et de fonctionnalités sont directement liées à la quantité et la qualité de la matière organique.

Les substances humiques (SH) font partie de la matière organique des sols et jouent un rôle particulièrement important grâce à leur implication dans des réactions de réduction et d'oxydation d'une part et grâce à leur potentiel pouvoir d'adsorption et de complexation d'autre part. De plus, elles participent au maintien végétal et à la structure du sol.

Dans le sud de la France, les feux de forêt sont récurrents et causent de graves dommages chaque année. Le site d'étude est un écosystème méditerranéen dans le massif des Maures, près de Sainte Maxime, où 25 parcelles ont été échantillonnées à 2 horizons (0 -5cm ; -5 -15 cm). Ce site a été choisi parce qu'il présente des parcelles impactées par des feux plus ou moins fréquents et plus ou moins récents.

Le but principal de ce travail est d'évaluer l'impact quantitatif et qualitatif des différents événements de feux sur les substances humiques du sol.

La teneur en carbone organique total (COT) a tout d'abord été mesurée avec un COT-mètre, sur les sols tamisés (2mm), séchés et broyés. Puis, les SH ont été extraites (NaOH) et fractionnées en acides humiques (AH), acides fulviques (AF) et fraction non humifiée (FNH) selon le protocole de l'International Humic Substance Society (IHSS). Les SH brutes ainsi que les 3 fractions obtenues ont été quantitativement analysées avec un COT-mètre, puis, qualitativement par différentes méthodes spectroscopiques : UV, Fluorescence 3D et Infrarouge Moyen. Enfin, un traitement multivarié (ACP) a été réalisé sur l'ensemble des données spectrales afin de donner une vision d'ensemble des résultats spectroscopiques.

Les résultats montrent que les feux de forêt récents ont un impact quantitatif significatif sur les sols. Ils présentent un horizon de surface plus impacté qu'en profondeur. De plus, les feux récents tendent à homogénéiser les horizons du sol. Plus de 16 ans après le dernier feu, l'impact est encore détectable, mais on peut constater, au niveau des feux les plus anciens, une restauration des sols qui débute par l'horizon de surface.

La date du dernier feu apparaît être un facteur plus important que le nombre de feux. Qualitativement, les SH montrent une aromaticité plus importante après les feux, ainsi que moins de groupements hydroxy, alkyles, carboxyliques et carbohydrates.

Session 5

Posters

Suivi de la maturité de composts de bio-déchets par Spectroscopie Proche Infra-Rouge

Remy Albrecht¹, Richard Joffre², Jean Le Petit¹, Gérard Terrom¹, Claude Périssol¹

¹*Aix-Marseille Université, Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléocécologie (UMR CNRS IRD), Ecologie Microbienne & Biotechnologies, case 452, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 20, France*

²*Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, UMR 5175, 1919 Route de Mende, 34293 Montpellier Cedex 05, France*

La Spectroscopie Proche Infra-Rouge (SPIR) est une méthode non destructive, rapide et peu onéreuse qui peut permettre de suivre les transformations de la matière organique (MO) pendant le compostage. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'intérêt de la SPIR pour prédire les transformations chimiques et biologiques qui se produisent dans un co-compost de boues d'épuration et de déchets verts. Ainsi, cette méthode pourrait être utilisée comme alternative aux méthodes classiques d'analyses chimiques et biologiques souvent longues et laborieuses.

Les 44 échantillons de compost prélevés pendant 146 jours de compostage en andains ont été analysés en utilisant 14 paramètres à l'aide de méthodes conventionnelles et par SPIR. Les résultats des méthodes conventionnelles ont confirmé l'existence de deux phases : une phase initiale bio-oxydante de 4 à 50-60 jours caractérisée par une dégradation intensive de la MO et une seconde phase jusqu'à 146 jours caractérisée notamment par une diminution de toutes les activités biologiques. Les calibrations SPIR et les écarts-types de prédiction SECV ont permis de calculer des équations de prédiction excellentes ($SD/SECV > 2$) pour 10 paramètres tels que C, N, C/N, acides humiques AH, AH/AF, pH, respiration, activités cellulase et phénoloxydase, ainsi que le temps de compostage. La calibration SPIR associée à la technique PLS a ainsi permis de prédire le stade de compostage, c'est-à-dire l'état d'avancement de la maturation, avec une erreur de 10 jours seulement.

Enfin, dans un esprit de synthèse, un nouvel Indice Global d'Evolution du Compostage (IGEC) issu de l'ensemble des informations fournies par les 14 paramètres chimiques et biologiques étudiés, a été proposé. Une analyse ACP sur l'ensemble des données (44 composts et 11 temps de compostage) a montré que les échantillons de compost s'ordonnaient sur l'axe 1 en fonction de leur âge. Les valeurs sur cet axe, qui représente l'avancement de la maturation, ont été calibrées par SPIR grâce à la technique PLS. La prédiction de l'IGEC par SPIR est excellente ($r^2 = 0,99$; $SD/SECV = 4,32$; variance expliquée = 93%).

En conclusion, la SPIR est capable de prédire la plupart des paramètres de maturité du compost. Le nouvel indice de maturité IGEC pourrait être plus fiable et plus complet que ceux déjà existants. Il pourra être amélioré en insérant dans les calibrations d'autres paramètres relatifs à la qualité des composts.

LE LEVOGLUCOSANE: UN MARQUEUR DES FEUX PASSES DANS LES SOLS?

M.A. Alexis¹, B. Richard¹, N. Péchot¹, G. Bardoux¹, C. Rumpel¹

¹: *laboratoire BioEMCo – Université Pierre et Marie Curie, Tour 56-66 4°,
4 place Jussieu, 75252 PARIS Cedex 5, FRANCE
tél: (00 33)1 44 27 50 27*

Les propriétés des matières organiques pyrogéniques peuvent être très variables en fonction de l'intensité du feu qui les a produites. L'élévation de température subie est déterminante, en particulier pour la stabilité de ces MO. La molécule de lévoglucosane provient uniquement de la combustion de la cellulose et de l'hémicellulose et a été largement utilisée comme marqueur des feux de biomasse dans les aérosols. Elle se forme entre 150 et 350°C et peut donc être considérée comme représentative d'une fraction faiblement altérée de la MO pyrogénique. Sa stabilité face à la biodégradation et au lessivage dans les sols affectés par le feu n'a jamais été étudiée. Sa structure chimique laisse supposer une stabilité assez faible. Cependant son inclusion dans des structures carbonisées et peu dégradables pourrait limiter son taux de dégradation dans les sols. La stabilité de cette molécule est déterminante pour son utilisation en tant que traceur des feux de végétation passés dans les sols et les sédiments.

Dans ce travail, la biodégradabilité du lévoglucosane produit au cours d'un feu naturel a été étudiée. Des échantillons de litière ont été collectés après le passage du feu et divisés en différentes fractions, selon la granulométrie des particules (45-250 µm, 250 µm-2 mm, >2 mm) et le degré d'altération thermique (particules noires *versus* brunes). Les échantillons ont été incubés au champ dans des sachets de litières disposés à 2-3 cm sous la surface du sol. Ils ont été collectés après 1 et 3.5 ans. Le lévoglucosane a été extrait à l'aide de MeOH, puis dérivatisé (BSTFA-TMCS) et quantifié en GC-FID.

La matière organique pyrogénique totale présente une forte résistance à la dégradation puisque 90% du C initial a été préservé après 3.5 années d'incubation. La litière de couleur brune récoltée après le feu possède la plus forte teneur en lévoglucosane. Cependant la majeure partie de ce lévoglucosane a été perdue au cours de la première année d'incubation. Nos résultats mettent également en évidence la sensibilité thermique du lévoglucosane, qui est détruit avec l'élévation de température, tandis que se forme le *black carbon*. Le lévoglucosane peut donc être considéré comme un indicateur de matières organiques faiblement altérées par la température. Il n'apparaît cependant pas suffisamment stable pour être utilisé comme traceur des feux de biomasse à moyen ou long terme dans les sols.

Mots-clefs: lévoglucosane, marqueur moléculaire, altération thermique, biodégradabilité, sols.

Extraction et hydrolyse assistées par micro-ondes. Un nouvel outil pour l'étude de la matière organique récalcitrante : Application à un sol de forêt

Béatrice Allard, Sylvie Derenne

BIOEMCO, CNRS UMR 7618, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris cedex05

La matière organique (MO) des sols représente un important pool de carbone. Une part non négligeable de cette MO est constituée de MO récalcitrante. Cette fraction, considérée comme ayant un taux de renouvellement très faible, pourrait jouer un rôle important comme puit de carbone et/ou dans l'immobilisation des polluants. Une connaissance de la structure chimique de cette MO récalcitrante apparaît donc indispensable mais s'avère délicate du fait de sa complexité et de son inertie chimique intrinsèque. Une nouvelle méthode de dégradation de la MO récalcitrante via des extractions et/ou des hydrolyses assistées par micro-ondes est présentée dans cette étude et les résultats sont comparés à ceux obtenus par pyrolyse. Cette technique a été testée sur la MO récalcitrante isolée d'un sol sableux de forêt (Cestas, Sud Ouest, France) (1)

L'échantillon est soumis à un champ micro-ondes focalisées, successivement dans H₂O, HCl 0,1 M et 1M puis KOH 0,1 M et 1M. Après chaque irradiation le résidu est extrait par H₂O et par un mélange CH₂Cl₂/CH₃OH. Les extraits sont analysés par GC-MS et les résidus obtenus après chaque étape d'irradiation sont soumis à une pyrolyse conventionnelle au point de Curie et à une thermochimolyse au point de Curie avec l'hydroxyde de tetraméthylammonium comme agent méthylant.

Les irradiations successives dans H₂O et en milieu acide dégradent 13% de la MO récalcitrante de départ. Les composés libérés lors de ces irradiations sont fortement dominés par le glucose. Ceci suggère la présence d'agrégats contenant des mono-(poly)saccharides non éliminés lors des hydrolyses acides drastiques mises en œuvre lors de l'isolement de la MO récalcitrante. Outre le glucose très majoritaire, des composés dérivant vraisemblablement de la lignine et des composés dérivant de cutines et de subérines sont présents en faible concentration.

Les irradiations successives en milieu basique dégradent environ 25% de la MO récalcitrante de départ. Les extraits issus de ces irradiations diffèrent fortement. Ils sont dominés par des dérivés de cutines, subérines et de cires cuticulaires, indiquant ainsi la contribution importante de ces biopolymères à la matière organique récalcitrante des sols.

En accord avec les analyses des extraits, les pyrochromatogrammes obtenus après chaque étape d'irradiation montrent (i) qu'après les irradiations micro-ondes en milieu acide l'abondance relative des composés issus de la dégradation thermique des mono-(poly)saccharides (lévoglucosénone, lévoglucosane) diminue fortement. (ii) qu'après les irradiations en milieu basique l'abondance relative des doublets alcane/alcène, correspondant à la dégradation thermique de macromolécules aliphatiques, diminue fortement. (iii) que les composés dérivés de la lignine semblent réfractaires aux irradiations micro-ondes aussi bien en milieu acide qu'en milieu basique.

Cette dernière conclusion est confirmée par la thermochimolyse des résidus. En effet, l'abondance relative des composés générés par la thermochimolyse des cutines et subérines diminue fortement tandis que celle des composés dérivés des lignines semble inchangée. Il apparaît, par contre, que la thermochemolyse sous-estime fortement la contribution de la cutine à la MO récalcitrante.

Comparée à la pyrolyse au point de Curie, l'extraction et l'hydrolyse assistées par micro-onde présentent plusieurs avantages: quantification possible des composés issus de la dégradation, identification des sucres constituant la matière organique récalcitrante et mise en évidence de certains composés issus des cutines. Par contre cette technique apparaît mal adaptée à la dégradation des constituants issus de la lignine. Le traitement de la matière organique réfractaire par irradiation micro-ondes apparaît comme une méthode très prometteuse, complémentaire voire alternative de la pyrolyse et pourrait certainement être étendue à d'autres types de matrices ou de biopolymères (sols bruts, tannins...).

(1) Quénéa, K., Derenne, S., Largeau, C., Rumpel, C., Mariotti, A. 2005. Spectroscopic and pyrolytic features and abundance of the macromolecular refractory fraction in a sandy acid forest soil (Landes de Gascogne, France). *Organic Geochemistry* 36, 349-362.

La fluorescence naturelle de la MOD : un nouveau traceur pour caractériser les écoulements souterrains et les modalités de recharge dans les aquifères karstiques

Christelle BATIOT-GUILHE ⁽¹⁾, **Anne-Sylvie FABIANO** ⁽²⁾, **Christophe EMBLANCH**,
Thibaut BLONDEL ⁽³⁾

⁽¹⁾ *Laboratoire HydroSciences, Maison des Sciences de l'Eau, Université Montpellier II, Place Eugène Bataillon – CC MSE, F-34095 Montpellier Cedex 5, France*

⁽²⁾ *Laboratoire de Chimie Bioorganique et des Systèmes Moléculaires Vectoriels (LCBOSMV), Faculté des Sciences, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 33 Rue Louis Pasteur, F-84000 Avignon, France*

⁽³⁾ *Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 33 Rue Louis Pasteur, F-84000 Avignon, France*

Correspondant: BATIOT-GUILHE Christelle

Tél: +33-4-67-14-37-03 Fax: +33-4-67-14-47-74

E-Mail: batiot@msem.univ-montp2.fr

Les aquifères karstiques constituent des réservoirs d'eau souterraine importants à l'échelle mondiale. Ces hydrosystèmes complexes représentent un enjeu socio-économique majeur, spécialement dans le bassin méditerranéen où 50% de la population est en moyenne alimentée par ce type d'aquifères. Leur exploitation et la gestion de la ressource souterraine de ces systèmes fracturés et karstiques, passent par une bonne connaissance du fonctionnement de ces réservoirs hétérogènes.

Les aquifères karstiques se caractérisent par une très forte hétérogénéité (variation spatiale importante des propriétés hydrodynamiques et hydrochimiques) et une réponse rapide aux épisodes pluvieux, contrairement aux réservoirs de type poreux. Leur étude nécessite donc de combiner différentes approches (géologique, hydrodynamique et hydrochimique) et de mettre en place des stratégies particulières d'étude pour caractériser leur comportement en liaison avec les conditions climatiques (périodes de hautes et basses eaux). Les vitesses d'écoulements souterrains varient de façon spatiale et temporelle au sein de ces réservoirs et peuvent être très rapides en période de hautes eaux. L'auto-épuration de ces milieux peut alors être très faible ce qui rend la ressource très vulnérable face à d'éventuelles contaminations d'origine anthropique (pesticides, bactéries d'origine fécales...). Des études récentes développées notamment sur le système karstique expérimental de Vaucluse (Avignon, France) ont montré que le COT (Carbone Organique Total) et le COD (Carbone Organique Dissous) constituaient des traceurs très intéressants et sensibles pour identifier l'infiltration rapide au sein de tels milieux (Albéric and Lepiller, 2001 ; Emblanch *et al.*, 1998 ; Batiot *et al.*, 2003).

Un suivi couplé des paramètres hydrodynamiques et hydrochimiques a été mené sur 5 exutoires pérennes appartenant à cette entité, durant 2 cycles hydrologiques. De plus la MOD (Matière Organique Dissoute) a également été analysée par spectrofluorimétrie 3D, au niveau des exutoires et des eaux d'infiltration du sol. La composition de la MO du sol évolue de façon saisonnière (Guggenberger *et al.*, 1994 ; Christ and David, 1996). Le suivi temporel des variations de l'intensité de fluorescence pour le couple de longueurs d'onde d'excitation-émission 350/450 nm en entrée (eaux d'infiltration) et en sortie (exutoires) sur différents sites appartenant au système karstique de Vaucluse permet ainsi d'estimer un temps de transit moyen de l'eau au sein de l'aquifère (Batiot *et al.*, 2001 ; Blondel *et al.*, 2006). Les variations d'intensité de fluorescence et de concentrations en COT dépendent également du développement de la karstification. Plus le milieu est karstifié, plus sa structure est hétérogène et plus les eaux circulant à l'intérieur peuvent avoir des évolutions et des temps de séjour variables. Les informations issues de ce suivi complètent celles obtenues par les approches hydrochimiques et hydrodynamiques classiques.

Protocoles de traçages hydrogéologiques spatial et temporel en aquifère karstique méditerranéen à partir des MOD : Utilisation conjointe de la fluorescence naturelle et des signaux de RPE

T. Blondel⁽¹⁾, C. Emblanch⁽¹⁾, Y. Dudal⁽²⁾, B. Pépin-Donat⁽³⁾, C. Lombard⁽³⁾, M. Protière⁽³⁾, J. Poulenard⁽⁴⁾, Y. Perrette⁽⁵⁾, S. Mounier⁽⁶⁾, S. Gaffet⁽⁷⁾

(1) UMR EMMAH, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse – INRA, Avignon

(2) UMR Biochimie du Sol et de la Rhizosphère, INRA – SupAgro, Montpellier

(3) UMR SPrAM, CEA – CNRS – Université J. Fourier, Grenoble

(4) Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Limniques, Université de Savoie – INRA, Le Bourget du Lac

(5) Environnements et Dynamiques des Territoires de Montagne, Université de Savoie – CNRS, Le Bourget du Lac

(6) Laboratoire PROTEE – CAPTE, Université du Sud Toulon Var, Toulon

(7) Laboratoire Souterrain à Bas Bruit, Université de Nice Sophia-Antipolis, Sophia-Antipolis

Le développement du traçage hydrologique à partir des Matières Organiques Dissoutes (MOD) a fait l'objet de nombreuses études au cours de ces dix dernières années. Notamment, l'utilisation de techniques de caractérisation, comme les Matrices d'Excitation-Emission de fluorescence et récemment la résonance paramagnétique électronique (RPE), ont permis de différencier les sources de MOD et de suivre ces dernières au sein d'hydrosystèmes continentaux et marins. D'autre part, les hydrogéologues ont montré l'intérêt de l'utilisation du Carbone Organique Total (COT) comme marqueur qualitatif des infiltrations rapides dans les aquifères karstiques.

Notre objectif consiste à utiliser les signaux de fluorescence et de RPE pour développer et appliquer un ou des traceurs spatiaux et des temps de séjour de l'eau dans les hydrosystèmes complexes.

Le Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (LSBB) de Rustrel – Pays d'Apte (84) nous offre un accès privilégié à différents types d'écoulements karstiques non structurés, en recoupant de manière aléatoire le réseau de fractures de la zone non saturée du système de Fontaine de Vaucluse (84). Après avoir identifié les différentes sources possibles de la MOD présente au niveau de ces écoulements, l'application conjointe des analyses en RPE et en spectrofluorimétrie sur les lixiviats de sols et les eaux souterraines du LSBB nous a permis de proposer deux protocoles de traçages hydrogéologiques. Le premier nous a permis la détermination des zones superficielles de sol appartenant au bassin d'alimentation des écoulements suivis. Le second correspond au développement de traceurs quantitatifs du temps de séjour pouvant s'appliquer de manière événementielle (marquage d'une période particulière de leur variation) ou en continu (permettant le suivi quasiment en continu des variations du temps de résidence).

Modalités de piégeage des matières organiques naturelles dans la calcite : Contenu organique de calcites synthétiques et naturelles

Chalmin É.^a, Perrette Y.^b, Fanget B.^b, Poulenard J.^c

a. European Synchrotron Research Facility, BP 220, 38043 Grenoble, France

b. Environnements et Dynamiques des Territoires de Montagne - Université de Savoie / CNRS. Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac France.

c. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Écosystèmes Limniques, Université de Savoie / INRA. Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac Franc

Les stalagmites constituent des enregistreurs particulièrement pertinents des flux de Matières Organiques (MO) dans l'environnement. Extraites des sols lors de la percolation des eaux météoriques, ces MO sont piégées dans les matrices cristallines des stalagmites lors de leur croissance. Différentes méthodes d'imagerie géochimique permettent de quantifier voire de qualifier cette MO au sein de ces archives naturelles. Mais pour utiliser pleinement le potentiel de cet enregistrement, il convient de déterminer les conditions de partitionnement de cette matière à différents stades de son transfert (interactions sol/eau, eau/solide puis eau/calcite). Cette présentation est centrée sur les modalités d'incorporation des MO lors de la cristallisation de calcites synthétiques et sur l'utilisation de ces standards pour interpréter des données issues d'imagerie en μ -FTIR de calcites naturelles.

Différents mécanismes peuvent être à l'origine du piégeage de MO au sein de la calcite naturelle qui forme les stalagmites. Pour établir un cadre général décrivant cette interaction calcite/MO, des échantillons de calcite ont été synthétisés en variant les concentrations en acides humiques (Aldrich) dans la solution de cristallisation.

Des méthodes micro-analytiques qualitatives et semiquantitatives complémentaires ont été appliquées afin de décrire ces échantillons de calcite synthétique d'un point de vue morphologique et structural à différentes échelles. Les méthodes de microscopie optique, de MEB, de spectroscopie FTIR, de diffraction X (XRD), et de spectroscopie XANES (x-ray absorption near edge structure) confirment que l'addition de MO a un effet direct sur la cristallisation de la calcite (taille des cristaux, forme cristalline). Les méthodes semiquantitatives (spectroscopie UV-vis, spectrophotométrie et spectrofluorescence) mettent en évidence un fractionnement lors de la croissance et une évolution moléculaire des MO durant l'inclusion dans la matrice cristalline. Enfin, la cartographie en fluorescence X et le XANES (par source synchrotron) ont permis d'analyser localement, sur les calcites naturelles et synthétiques, la relation calcite/MO.

Ces différentes analyses montrent le potentiel des sulfures comme élément traceur des matières organiques piégées dans la calcite. Cette utilisation possible du sulfure, issue des analyses réalisées sur les échantillons synthétiques, est appliquée à une stalagmite prélevée dans une carrière de calcaire située proche de Grenoble qui couvre la dernière cinquantaine d'années.

Plans d'expériences appliqués à l'étude des interactions Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) – Matière Organique Dissoute (MOD)

Chloé DE PERRE¹, Anne-Marie DORTHE², Karyn LE MENACH¹, Hélène BUDZINSKI¹, Edith PARLANTI¹

¹ *Université Bordeaux 1 ; CNRS ; UMR 5255 ; ISM-LPTC, 351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex, France*

² *Université Bordeaux 1 ; UMR 5255 ; ISM-NSysA, ENSCPB, 16 Avenue Pey Berland 33607 Pessac cedex, France*

Aujourd'hui, de nombreux contaminants sont présents à l'état de traces dans les environnements aquatiques. Or, la matière organique dissoute (MOD), qui est un mélange complexe de macromolécules, peut s'associer à ces contaminants et influencer leur comportement et leur distribution. Ces interactions entre MOD et contaminants peuvent s'avérer très complexes à étudier dans la mesure où elles sont dépendantes de nombreux facteurs tels que la nature des contaminants et de la MOD, ainsi que des paramètres physico-chimiques du milieu. Il est donc apparu intéressant d'utiliser les plans d'expériences afin de déterminer les facteurs influents et ceux sans effet sur les interactions, ainsi que les interactions possibles entre ces différents facteurs. En effet, les plans d'expériences permettent la compréhension de phénomènes complexes par l'utilisation de règles mathématiques et d'un nombre minimal d'expériences appropriées.

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont ubiquistes dans l'environnement aquatique et peuvent être toxiques pour les organismes. Les interactions HAP-MOD ont tout d'abord été étudiées avec l'acide humique Aldrich dissous dans de l'eau ultrapure et filtrée. Les paramètres étudiés dans une première expérience étaient les concentrations en HAP (de 0,1 à 1 µg/L) et en MOD (de 1 à 12 mg/L de Carbone Organique Dissous (COD)), la salinité (de 0 à 30) et le pH (de 5 à 9). Le plan d'expérience utilisé était un plan factoriel fractionnaire à deux niveaux permettant d'obtenir l'effet de 4 facteurs avec uniquement 8 expériences. Afin de définir l'effet de ces différents facteurs, les coefficients d'association HAP-MOD (K_{DOC}) ont été calculés au moyen de la Micro-Extraction sur Phase Solide couplée à la Chromatographie en Phase Gazeuse et à la Spectrométrie de Masse (SPME-GC-MS). Cet outil est constitué d'une fibre qui est plongée dans l'échantillon permettant l'absorption des HAP libres puis cette fibre est directement désorbée dans l'injecteur du chromatographe de par sa haute température. Grâce à un étalonnage interne approprié, cette technique permet de mesurer les concentrations en HAP libres et en HAP associés à la MOD en une seule extraction, ce qui permet de calculer les K_{DOC} . Cette technique offre l'avantage d'être rapide, sensible et fiable. De plus, il a été préalablement vérifié que les paramètres étudiés ici n'ont pas d'effet sur l'extraction, les résultats ne sont donc pas biaisés par la technique elle-même. En outre, parallèlement à la quantification des HAP, la MOD a été caractérisée par spectroscopie UV-visible et par spectrofluorimétrie (utilisation d'indices de fluorescence) et quantifiée grâce à la mesure de la concentration en COD de chaque échantillon.

Les résultats préliminaires montrent que les facteurs les plus influents sont le pH et la concentration en COD alors que la salinité et la concentration en HAP ne montrent pas d'effets statistiquement significatifs. D'autre part, l'effet des paramètres est largement influencé par la taille et l'hydrophobicité des HAP. La caractérisation de la MOD montre qu'il semblerait également que les différents facteurs aient une influence sur le spectre et les indices de fluorescence de la MOD. L'effet de ces paramètres sur la structure de la MOD pourrait expliquer les effets de ces mêmes paramètres sur les interactions avec les HAP.

Cette approche par les plans d'expériences a donc permis de définir les paramètres importants à considérer dans l'étude des interactions HAP-MOD et de pouvoir décorrélérer l'effet de ces différents paramètres dans des milieux complexes. La comparaison des K_{DOC} pour différents contaminants au contact de différentes MOD dans des milieux plus différents les uns que les autres pourra donc s'avérer possible grâce à l'utilisation des plans d'expériences et de la SPME-GC-MS ; ce qui permettra une connaissance plus approfondie des phénomènes mis en jeu.

Fractionnement et concentration de la matière organique dissoute par ultra-filtration / osmose inverse

Morgane Derrien, Emilie Jardé, Gérard Gruau et Anne-Catherine Pierson-Wickmann

CAREN, CNRS-Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex

La matière organique naturelle (MON) des eaux continentales est issue de la dégradation de la biomasse animale ou végétale ou de la production biologique des organismes vivants dans les milieux aquatiques. De par sa structure riche en carbone organique, elle joue un rôle primordial dans les cycles biogéochimiques et en particulier dans celui du carbone. Elle joue également un rôle significatif dans la mobilité et la solubilité des contaminants chimiques (métalliques ou organiques). La MON est omniprésente en milieu aquatique, et peut se trouver sous forme dissoute (MOD), colloïdale (MOC) et particulaire (MOP).

Au sein de la MON, la MOD est décrite dans la littérature comme un mélange de macromolécules complexe et hétérogène en faible quantité, avec une concentration moyenne de 5 à 15mg/L de carbone organique dissous (COD) pour les eaux douces. De plus, sa composition varie fortement en fonction de son origine (allochtone ou autochtone), des contaminations liées aux activités humaines et des conditions hydrologiques. Sa complexité, son hétérogénéité ainsi que sa faible teneur rendent difficiles les études sur la MOD. Cependant une caractérisation fine de la MOD est nécessaire, afin de déterminer sa nature, l'origine de ses précurseurs, les mécanismes impliqués dans sa formation, son devenir en conditions naturelles et son rôle dans divers processus environnementaux (source de carbone et d'énergie pour l'ensemble des écosystèmes, rétention des éléments traces,...).

Arriver à une caractérisation précise est d'autant plus primordial, qu'une augmentation de la teneur en MOD des eaux de surface est observée depuis plusieurs années à l'échelle mondiale. En Bretagne, la concentration moyenne en MO des eaux superficielle a ainsi été multipliée par deux en moyenne annuelle depuis les vingt-cinq dernières années. Outre la menace que cette situation fait peser sur la pérennité de l'approvisionnement en eau potable des populations bretonnes (en Bretagne, les captages superficiels fournissent 85% des eaux distribuées), une forte teneur en MOD dans les eaux brutes est dommageable pour au moins trois raisons :

- traitement des eaux plus lourd et plus onéreux,
- élimination des produits phytosanitaires plus difficile due à une compétition de ces derniers avec les MO,
- présence dans les eaux distribuées de sous-produits halogénés cancérigènes pour l'homme.

Concernant les causes de pollution, l'incertitude demeure : s'agit-il d'un déstockage accéléré des substances humiques des sols en réponse au réchauffement climatique? S'agit-il d'une eutrophisation accrue des eaux superficielles liée aux apports répétés et croissant d'azote et de phosphore d'origine agricole? Une caractérisation précise de cette MOD est donc indispensable, car elle permettrait de connaître sa nature, ses origines et ainsi de comprendre sa dynamique dans les eaux de surface bretonnes.

La nature de la MOD ainsi que sa faible quantité en milieu naturel en complexifie l'analyse. Avant analyse, il est donc nécessaire d'utiliser des techniques de fractionnement et de concentration de la MOD. Le couplage ultra-filtration/osmose inverse semble être la solution la plus adaptée. La méthode sera optimisée en jouant sur différents paramètres : pression, types de membranes, pH et facteur de concentration volumique. L'impact de ces paramètres sur la qualité de la MOD sera bien évidemment contrôlé à l'aide des méthodes d'analyse globale (dosage du COD, mesure de l'absorbance UV et calcul de l'indice SUVA et spectrofluorimétrie 3D). Une fois ce couplage optimisé, les analyses réalisées par pyrolyse/chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse permettront de déterminer la nature et l'origine de la MOD des eaux superficielles en Bretagne. Ainsi, il sera possible de déterminer la nature exacte des réservoirs de carbone déplacés et de déterminer le rôle des activités humaines sur ces déplacements dans le contexte spécifique d'une région d'agriculture intensive.

Mise au point de la quantification des HAP contenus dans des extraits aqueux de sols et de produits résiduels organiques

M. Deschamps, N. Bernet, P. Benoit, S. Houot

*UMR INRA – AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures, Equipe Sol,
78 850 Thiverval-Grignon*

Afin d'évaluer la disponibilité des 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus dans des sols et dans des produits résiduels organiques (PRO), nous avons réalisé des extractions séquentielles sur des petits échantillons (10 g de sol, 2 g de PRO) à l'aide d'un système d'extraction accélérée par solvants (ASE, Dionex) : extraction à l'eau à 50°C puis extraction à l'eau subcritique à 125°C (eau liquide à haute température et sous pression et dont les propriétés de solvation sont modifiées) et enfin extraction totale avec un mélange de solvants organiques à 150°C. L'analyse des HAP est réalisée par chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec détection UV (détecteur à barrette de diodes) et détection de fluorescence.

Bien qu'il soit chargé en matière organique, l'extrait total obtenu avec les solvants organiques ne nécessite pas de préparation particulière : il est concentré par évaporation, filtré et injecté en HPLC (il y a très peu d'interférents car la détection de fluorescence est spécifique).

Il n'est pas envisageable de concentrer par évaporation les extraits aqueux (obtenus à 50 et 125°C). Deux techniques d'extractions ont donc été comparées : l'extraction liquide-liquide en ampoule à décanter (LLE), avec le dichlorométhane comme contre-extractant et l'extraction par absorption sur barreau aimanté (SBSE, Stir Bar Sorptive Extraction). La SBSE est une technique d'absorption (partage) des solutés contenus dans une matrice aqueuse, par une phase liquide qui lui est non miscible (polymère déposé sur une capsule contenant un barreau aimanté). Cette technique présente de nombreux avantages par rapport à la LLE, notamment une consommation de solvants organiques 10 fois plus faible, une concentration de l'échantillon final 7 fois plus grande et une manipulation réduite des échantillons. L'extraction des HAP contenus dans des eaux de pluie par SBSE a été optimisée au laboratoire [1] et la méthode a été appliquée aux échantillons aqueux de sols et de PRO. Afin d'étudier l'influence de la matrice qui est chargée en matière organique (4 à 50% du C organique total des PRO peut être extrait à l'eau, en fonction de la température d'extraction), les deux méthodes d'extractions ont été appliquées à des échantillons d'eau milli-Q dopée avec les HAP, à des extraits aqueux ASE à 125°C de sol et de PRO ainsi qu'à ces mêmes extraits dopés avec les HAP.

Les résultats montrent que les deux méthodes sont répétables ($CV < 15\%$). Le taux de recouvrement de la SBSE sur eau milli-Q dopée est de 100% tandis que celui de la LLE varie entre 65 et 94%. Les expériences réalisées avec les extraits aqueux de sol montrent que la LLE et la SBSE donnent des résultats globalement similaires. De plus, le taux de récupération par SBSE des HAP varie généralement entre 90 et 120%. La SBSE est donc adaptée pour quantifier les HAP contenus dans des extraits aqueux de sol. Dans le cas des extraits aqueux de PRO (compost d'ordures ménagères résiduelles et boue co-compostée avec des déchets verts), les quantifications par LLE et SBSE diffèrent l'une de l'autre jusqu'à 40%. Le taux de récupération par LLE des HAP est en moyenne de 50% (il varie de 36 à 61%) tandis que le taux de récupération par SBSE des HAP varie de 56 à 96%, ce qui démontre une influence de la matrice qui n'est pas négligeable. La SBSE semble donc mieux adaptée que la LLE pour l'extraction des HAP contenus dans des extraits aqueux de PRO mais il faut prendre en compte l'influence de la matrice, par exemple par la méthode des ajouts dosés.

La matière organique des sols et des PRO, extraite par l'eau à différentes températures, peut avoir une influence importante sur les rendements de techniques d'extractions comme la LLE ou la SBSE. Ceci montre une nouvelle fois que l'influence de la matrice doit être systématiquement évaluée lors des mises au point de méthodes analytiques quantitatives.

[1] M. Bourdat-Deschamps, J.-J. Daudin, E. Barriuso. (2007) *Journal of Chromatography A*. **1167** 143-153.

Traçage par fluorescence 3D des rejets de stations d'épuration dans le fleuve Hérault

Elbaz-Poulichet F¹, Bancon-Montigny C¹, Cordier M-A¹, Batiot-Guilhe C¹, Daudin G² et Dudal Y²

¹ *Laboratoire HydroSciences, Universités Montpellier I & II, CNRS, IRD, UMR 5569
Place Eugène Bataillon CC. MSE. - 34095 MONTPELLIER cedex 5*

² *UMR Biogéochimie du Sol et de la Rhizosphère, INRA-SupAgro, Bâtiment 12
2, place Pierre Viala, - 34060 MONTPELLIER cedex 2*

La qualité de la ressource en eau est fréquemment affectée par des rejets industriels ou urbains. L'eau est généralement traitée avant d'être rejetée mais dans certains bassins versants la quantité d'eau ainsi recyclée peut devenir majoritaire. Les effluents urbains bien que traités sont susceptibles de contenir des micropolluants (par exemple des médicaments) car les stations de traitement et d'épuration des eaux (STEP) n'ont pas été conçues pour les éliminer. L'utilisation d'une telle eau pour la consommation humaine peut éventuellement présenter des risques qui restent à évaluer. En outre les STEP peuvent rencontrer des difficultés opératoires du fait d'une surcharge temporaire (fortes pluies) ou surcharge ce qui peut entraîner la contamination de la ressource exploitée pour l'eau potable par de l'eau non traitée. L'impératif de gestion de la ressource en eau et de sa qualité génère le besoin de pouvoir rapidement identifier la provenance et de discriminer des eaux « naturelles » d'eaux « anthropisées ».

Notre objectif consiste à développer un traceur simple et rapide de l'origine naturelle ou anthropique des eaux. Une des différences majeures entre ces deux types d'eau provient du solide qu'elles ont traversé avant de se trouver dans le cours d'eau : soit un sol, soit une boue de station d'épuration. Nous faisons l'hypothèse que ce contact avec des solides totalement différents procure une signature tridimensionnelle de fluorescence spécifique à chaque eau. En effet, la matière organique dissoute (MOD) contenue dans ces eaux aura soit des caractéristiques végétales (origine de la matière organique dans les sols), soit des caractéristiques de boues (forte présence de protéines), dont les signatures de fluorescence sont bien distinctes.

Une campagne d'échantillonnage a été menée sur le fleuve Hérault au printemps 2008. Des eaux ont été prélevées du fleuve mais aussi de captages de nappe, d'affluents et de sorties de STEP. De plus, des boues de STEP et des sols avoisinants ont été extraits à l'eau afin de caractériser les sources de MOD. En plus des paramètres environnementaux classiques, les matrices d'excitation-émission (MEE) de fluorescence ont été enregistrées pour chaque échantillon. Des calculs de volumes de massifs ont été effectués sur les MEE afin de quantifier un indice d'anthropisation des eaux, défini comme le volume relatif des massifs protéiniques (< 400 nm en émission) rapporté au volume relatif des massifs humiques (> 400 nm en émission). Le travail en volumes permet de tenir compte de l'intégralité du signal de fluorescence.

Les résultats montrent que les spectres de fluorescence obtenus en sortie de STEP et en eaux naturelles sont distincts. L'indice d'anthropisation des eaux développé est discriminant et permet de positionner tous les échantillons sur une droite de mélange dont les pôles sont constitués par d'un côté les extraits aqueux de sols et de l'autre les extraits aqueux de boues. Le positionnement d'un échantillon donné sur la droite indique directement son degré d'anthropisation. La fluorescence 3D nous procure un bon traceur des activités anthropiques et laisse envisager la possibilité de développer des systèmes d'alerte à l'aide de fluorimètres de terrain.

BIODEGRADATION AEROBIE DE DECHETS SOLIDES : CARACTERISATION PAR COUPLAGE DE METHODES D'ANALYSE

K. ESTEVE, A. TREMIER, P. DABERT

Cemagref, UR GERE, 17 avenue de Cucillé, CS 64427, 35 044 Rennes cedex.

La biodégradation de matrice solide en milieu aérobie, communément appelée compostage, est une solution simple et pratique pour valoriser les déchets organiques. Avec l'évolution technique et la problématique de gestion environnementale européenne des déchets, le compostage se voit soutenu et son champ d'application s'est élargi. Ainsi, la filière compostage concerne aujourd'hui tous types de déchets organiques, tels que les déchets verts, les bio-déchets, les ordures ménagères, les boues de station d'épuration collectives ou industrielles, les déchets agroalimentaires, les effluents d'élevage...

Le compostage repose sur l'utilisation par les micro-organismes de la matière organique constitutive de ces déchets selon 2 phases successives. La première étape de compostage est essentielle. C'est durant celle-ci, que les processus rapides de dégradation de la matière (réactions enzymatiques,...) conduisent à une stabilisation de la matrice organique. La nature physico-chimique du déchet et la biomasse active inhérente à celui-ci sont autant de facteurs qui influent sur le processus de biodégradation. Aussi, le développement d'outils permettant de mesurer le potentiel de biodégradabilité aérobie d'un substrat et sa cinétique de biodégradation est un enjeu important. Ces informations conditionnent la quantité minimale d'oxygène qu'il faudra apporter au cours de cette étape de compostage pour stabiliser le substrat ainsi que le temps minimum de traitement.

Au Cemagref, le potentiel biodégradable de boues agro-industrielles a été quantifié par une méthode respirométrique. En effet, la consommation d'oxygène est une mesure directe de l'activité de biodégradation de la matière organique par les micro-organismes contenus dans le bio-déchet. Ces mesures ont permis de modéliser les processus biologiques et de quantifier les paramètres cinétiques de biodégradation de la matière organique en conditions contrôlées. Néanmoins, c'est à partir des seules courbes respirométriques modélisées que les paramètres biologiques de développement de la biomasse et de dégradation de la matrice sont quantifiés, et non par un couplage de différentes méthodes expérimentales. Par ailleurs, les courbes respirométriques obtenues sur d'autres déchets, comme les ordures ménagères, sont différentes de celles observées avec les boues et requièrent des études complémentaires pour comprendre les processus biologiques au sein de la matrice.

L'objectif de cette étude est de caractériser l'évolution de ces 2 types de déchets au fil du processus de biodégradation dans le respiromètre par une batterie de méthodes analytiques chimiques et microbiologiques, afin de comprendre quelles sont les différences physico-chimiques de la matière mais aussi l'activité et la nature des communautés microbiennes sélectionnées. Pour comprendre ces mécanismes, des cinétiques respirométriques de biodégradation d'ordures ménagères et de boues agroindustrielles sont réalisées. Elles sont couplées avec différentes méthodes analytiques qui déterminent :

- La composition chimique la matière : paramètres globaux (DCO, COT,...), bio-polymères, protéines, polysaccharides, substances humiques, celluloses, hémicelluloses, lignines, sucres, acides aminés.
- L'activité métabolique : activités enzymatiques (protéases, cellulases, uréases, déshydrogénases), adénosine-5'-triphosphate (ATP) intra et extra-cellulaire.
- La composition de la biomasse : quantification des groupes microbiens dominants par PCR en temps réel, analyse des communautés microbiennes par typage moléculaire (CE-SSCP).

L'ensemble des résultats obtenus permettra d'améliorer notre compréhension des phénomènes biologiques de biodégradation de la matière, mais aussi d'optimiser le modèle cinétique actuellement utilisé au Cemagref et d'affiner la détermination expérimentale de ses paramètres.

Suivi de l'évolution conformationnelle des matières organiques de sols extraites à l'eau.

Fanget B.^a, Perrette Y.^a, Poulenard J.^b, Miège C.^c

a. Environnements et Dynamiques des Territoires de Montagne - Université de Savoie / CNRS. Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac France.

b. Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Écosystèmes Limniques, Université de Savoie / INRA. Savoie Technolac, 73376, Le Bourget du Lac France

c. Cemagref Lyon

Les matières organiques naturelles (MO) issues des sols interviennent dans les interactions entre les écosystèmes terrestres et aquatiques. Facteurs actifs du transfert / stockage des polluants et de nutriments, les MO extractibles constituent l'un des traits caractéristiques des sols. Le rôle de ces MO est fort variable selon leur structure moléculaire (caractère aromatique, aliphatique ...) or cette structure évolue dans le temps sous le contrôle de paramètres biotiques mais également abiotiques.

Afin de décrire l'évolution conformationnelle des matières organiques naturelles après une extraction à l'eau, nous avons analysés ces MO par chromatographie d'exclusion stérique couplant en série un détecteur de fluorescence, d'absorption UV-vis et de COD. L'échantillon de sol provient de l'horizon organique d'un cambisol situé dans une clairière en moyenne montagne calcaire. Le sol a été séché puis broyé légèrement avant d'être tamisé à 2 mm. La solution obtenue après agitation orbitale (4h) d'un mélange sol:solution de 1:10 dans de l'eau osmosée a été filtrée à 0,2 µm puis conservée à 6°C à l'abri de la lumière. Les analyses HPSEC de cet échantillon ont été réalisées de 1 à 10 jours après l'extraction.

La première analyse réalisée (premier jour) sur l'extrait révèle principalement que cet extrait est composé de molécules de petite masse moléculaire (mode aux alentours de 500 Da). Très peu de molécules présentent des masses supérieures à 100 000 Da. Progressivement (au cours des 10 jours de mesures), la quantité de ces petites molécules diminue au profit de composés de plus grosse taille moléculaire. On voit alors augmenter la proportion relative de modes qui étaient présents dès la première analyse. De même, la proportion d'agrégats de masse moléculaires supérieurs à 100 000 Da augmente au cours du temps. À 10 jours, un précipité organique apparaît dans la solution ce qui conduit à la diminution relative de la part de ces agrégats.

Ces premiers résultats montrent que la conformation des matières organiques extraites à l'eau est très variable dans le temps. Cette dynamique induit une grande variabilité temporelle dans le rôle que peuvent jouer les MO depuis leur mobilisation jusqu'à leur stockage au sein des sols ou dans d'autres compartiments des écosystèmes. Enfin, cette étude implique des questionnements sur le devenir des MO en milieu naturel ou de tels phénomènes, réversibles ou non, sont envisageables après des modifications des équilibres de la solution (agitation, dilution, concentration).

Etude spectrophotométrique de la réactivité de la matière organique

N. Janot^{1,2}, M. F. Benedetti¹, P. Reiller²

¹*Laboratoire de Géochimie des Eaux, Université Paris-Diderot Paris 7 – IPGP.*

²*CEA/DEN/DANS/DPC/SECR, Laboratoire de Spéciation des Radionucléides et des Molécules, Centre CEA de Saclay.*

Les interactions entre la matière organique naturelle et les phases minérales ont une grande influence sur la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces présents dans les milieux naturels ou anthropisés. De manière à pouvoir prédire le comportement de ces cations, notamment les radionucléides, lors de ces interactions, il est nécessaire de mieux caractériser les modifications de structure et de réactivité de la fraction adsorbée de la matière organique à la surface du minéral mais aussi celle restant en solution. L'étude de cette sorption doit avoir lieu dans des conditions où les concentrations en matière organique, que ce soit après ou avant sorption, soient proches de celles des milieux naturels ou contaminés. L'étude par titrages potentiométriques classiques nécessite l'utilisation de solution concentrée pour une analyse fine de l'hétérogénéité de la réactivité de la matière organique. Il est donc nécessaire de développer une autre approche qui permette d'étudier les modifications fonctionnelles des matières organiques à faible concentration en solution. Le titrage spectrophotométrique est une approche qui permet de répondre aux contraintes de l'étude de l'hétérogénéité de la matière organique en milieu dilué.

Pour cela, les spectres acquis dans le domaine de l'UV-Vis d'une solution d'acide humique purifié (e.g. un analogue de la matière organique) peu concentrée (5 mg.L^{-1} DOC) sont étudiés en chaque point d'un titrage acido-basique (entre pH 3 et pH 11). Des spectres d'absorption différentielle sont alors calculés à différentes valeurs de pH par rapport à une valeur de pH de référence choisie en fonction du domaine de réactivité étudiée. Les spectres d'absorption différentielle présentent des caractéristiques absentes des spectres originels et qui peuvent être associées aux fonctionnalités phénoliques et carboxyliques de la matière organique. L'analyse de l'influence des variations de pH sur les spectres d'absorption différentielle permet de qualifier et quantifier la déprotonation de l'acide humique purifié utilisé lors des titrages.

Par ailleurs un titrage potentiométrique est réalisé avec une concentration d'acide humique beaucoup plus élevée ($0,5$ à 1 g.L^{-1}). La comparaison des résultats des deux méthodes de titrage sera discutée et la modélisation de la variabilité des signaux potentiométriques et spectrophotométriques sera faite dans le cadre du formalisme NICA-Donnan. L'objectif final est d'obtenir une fonction de transfert entre la quantité de sites obtenue par potentiométrie et les densités de site réactif en spectrophotométrie pour permettre une analyse en routine de l'approche spectrophotométrique.

Validation of a conductometric bienzyme biosensor for the detection of proteins as marker of organic matter in river samples

B. Khadro^{1,2}, P. Namour², F. Bessueille¹, D. Leonard¹, N. Jaffrezic-Renault^{1,*}

1. Université de Lyon, Laboratoire des Sciences Analytiques, Bâtiment Raulin, Université Claude Bernard-Lyon1, CNRS UMR 5180, 69622 Villeurbanne Cedex, France.

*. Corresponding author: tel: +33472431182, fax: +33472431206.

Email: nicole.jaffrezic@univ-lyon1.fr

2. Cemagref of Lyon, 3 bis quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09, France

This article describes a conductometric bi-layer based bienzyme biosensor for the detection of proteins as a marker of organic matter in rivers. Proteins were chosen to be used as indicators of urban pollution. The working mechanism of the bienzyme biosensor is based on the enzymatic hydrolysis of proteins into several fractions (peptides and amino acids) which results in a local conductivity change depending of the concentration of proteins. In this work, we began with the optimization of biosensor response using bovine serum albumin (BSA) as standard protein. For this objective seven enzymatic biosensors were prepared: four enzymatic sensors with only one layer of enzyme (proteinase K, trypsin, pronase or protease X) and three other enzymatic sensors with two layers (first layer: membrane containing proteinase K, second layer: one of the three other enzymes: trypsin, pronase or protease X). The biosensors were obtained through the deposition of enzymatic layers and the cross-linking process between enzymes and BSA (bovine serum albumin) in saturated glutaraldehyde vapour.. The response of the various biosensors, described previously, were compared with the values of total organic carbon (TOC), and those of organic nitrogen (Norg), as determined by the laboratory accredits (CEMAGREF of Lyon) using the traditional method of analysis (NF EN 1484, infrared spectroscopy) and (NF EN 25663, mineralization/colorimetry assay) respectively for each water sample obtained from different sites in Lyon (France). The linear correlations obtained with the response of the seven biosensors studied showed the most important indices of correlations for the biosensor with two enzymatic layers: proteinase K + pronase (pkp). The optimum conditions for the preapration of the pkp biosensor increased the sensitivity and gave a limit of quantification of $0.583\mu\text{g.L}^{-1}$ for total organic carbon and $0.218\mu\text{g.L}^{-1}$ organic nitrogen in water samples. This sensor shows good reproducibility (2.28 %), a capacity to be used at temperatures varying between 10 and 30°C (depending on the season) and moreover a long lifetime (5 weeks).

Keywords: Conductometric Biosensor; Proteins; Enzyme; Natural water analyses; Total Organic Carbon; Organic Nitrogen.

Critères de caractérisation de la matière organique dissoute fluorescente en milieux aquatiques.

Edith PARLANTI, Lilian VACHER, Arnaud HUGUET, Katharina WÖRZ, Fabienne IBALOT

Université Bordeaux 1 ; CNRS ; UMR 5255 ; ISM-LPTC, 351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex, France

** e.parlanti@ism.u-bordeaux1.fr*

Les environnements côtiers représentent des systèmes complexes soumis à des conditions de marées et de mélange entre eau douce et eau marine. L'objectif de ce travail a été d'appliquer la spectroscopie de fluorescence à l'étude de différents milieux aquatiques en vue d'étudier l'évolution de la matière organique dissoute (MOD) fluorescente au cours des processus de mélange des masses d'eau. Des échantillons provenant de divers écosystèmes aquatiques (eaux douces, estuaires et eaux marines) ont été étudiés.

La MOD est constituée pour l'essentiel de macromolécules présentant une grande variété de propriétés physico-chimiques. La matière organique autochtone est produite au sein même des environnements aquatiques, soit à la suite du développement et de l'activité des organismes photoautotrophes (macrophytes, phytoplancton...), soit à la suite de la dégradation de ces mêmes organismes par les organismes brouteurs et les bactéries. La matière organique allochtone provient quant à elle du milieu terrestre et est apportée aux environnements aquatiques par les eaux de nappes et les eaux de ruissellement. La teneur en COD comme seul paramètre ne permet absolument pas de rendre compte des multiples transformations que peut subir la MOD dans les milieux aquatiques.

La spectrofluorimétrie 3D permet un suivi et une caractérisation de ce matériel complexe dans les milieux aquatiques en fonction de son origine et des phénomènes biotiques et abiotiques qui conditionnent sa présence et son devenir. L'analyse par fluorescence d'échantillons naturels montre en effet des différences importantes en fonction de la nature des eaux (lacs, rivières, estuaires, eau de mer...), leur provenance géographique et des conditions environnementales (saison, pH, eutrophisation...). Les différences notables observées entre des eaux d'origines marine ou fluviale peuvent résulter du mélange de plusieurs types de matériels organiques bien distincts provenant spécifiquement de chacun des deux milieux aquatiques (mer et fleuve) ou bien résulter de modifications de la matière organique durant le mélange des deux masses d'eau ayant des propriétés physico-chimiques différentes telles que le pH ou la salinité.

Les effets de la salinité et du pH sur la fluorescence de la MOD ont donc tout d'abord été étudiés. Il a ainsi pu être vérifié que les variations de ces deux paramètres dans les environnements aquatiques étudiés ne pouvaient pas expliquer les différences spectrales observées entre eaux douces et eaux marines.

Les intensités de fluorescence des bandes observées renseignent sur la concentration des constituants de la MOD alors que les rapports d'intensité des différentes bandes permettent d'estimer la contribution relative de chacune des composantes. Cette technique permet donc de mettre en évidence des différences qualitatives et quantitatives au sein de la MOD en fonction de son origine. Des indices de fluorescence ont également été construits et permettent d'apprécier le degré de maturation de la matière organique (HIX) et la production autochtone récente de MOD (BIX) dans le milieu. Des variations spatiales et saisonnières de la MOD fluorescente ont été observées. Ce travail a montré que les indices HIX et BIX sont particulièrement bien adaptés à la caractérisation et la discrimination de la MOD fluorescente dans les environnements marins et côtiers. Le nombre d'échantillons étudiés issus d'environnements différents et sous des conditions environnementales variées nous a permis d'établir une échelle de valeurs pour chaque indice. Ces nouveaux critères pour la caractérisation de la MOD fluorescente dans les milieux aquatiques peuvent être proposés pour définir et classer la MOD dans ces écosystèmes.

Hydrocarbonnes Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les stalagmites : présence et utilisation pour étudier les environnements passés.

**Yves PERRETTE ^a, Jérôme POULENARD ^b, Abdel-Ilah SABER ^c, Bernard FANGET^a,
Sylvie GUITTONNEAU^c, Bassam GHALEB^d, Sandrine GARAUDEE ^c**

a - Environnements et DYNAMIQUES des TERRITOIRES de Montagne, UMR 5204 - CNRS, Savoie Technolac, 73376- Le Bourget du Lac - France

b- Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Limniques, UMR 42 - INRA, Savoie Technolac, 73376- Le Bourget du Lac - France

*c- Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement, Université de Savoie, 73376-Le Bourget du Lac France,
d-GEOTOP-UQAM-McGILL, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, Succ. Centre- Ville Montréal, Qc H3C 3P8 - Canada*

Les hydrocarbonnes aromatiques polycycliques sont des molécules produites en partie par la combustion de matières organiques, que ces combustions soient d'origine naturelle ou anthropique. En raison de leur caractère toxique, ces molécules ont été largement étudiées dans l'environnement, tant au niveau de leur sources que de leurs transferts ou de leurs puits potentiels. Par exemple, des travaux ont montré qu'à partir des profils de HAP, on peut distinguer les sources de production (essence végétale, type de carburant) voire les types de combustions impliquées (avec ou sans flamme ...). Nous avons testé ce potentiel en cherchant à distinguer par les HAPs, dans une stalagmite du Vercors, des phases reconnues d'essartage (écobuage) et des phases de charbonnage.

Une stalagmite bien datée sur les 400 dernières années, prélevée dans le plateau du Vercors (Choranche), a été analysée. Cette étude a été accompagnée d'une analyse des sources potentielles de HAP dans les sols. Afin d'optimiser l'extraction des HAPs dans la stalagmite, les rendements obtenus par Soxhlet et par ultrason ont été comparés. Les meilleurs résultats ont été obtenus en réalisant une extraction par ultrason sur les échantillons de stalagmites broyés (1,5 g de calcite qui représente une période de croissance entre 50 et 100 ans). L'analyse a été réalisée par une méthode courante couplant HPLC et détection fluo.

Les distributions de HAP ont été obtenues pour les sols et la stalagmite. Le premier résultat est que malgré le caractère hydrophobe bien connu des HAPs, on les retrouve en quantité non négligeable dans la stalagmite : selon les échantillons la somme totale des HAPs présents varie de 18 à 30 ng/g. Le deuxième résultat est qu'alors que classiquement les profils HAP des sols sont dominés par les HAP lourds (plus lourd que l'anthracène), les profils HAPs des stalagmites sont dominés par les HAPs légers, en général plus solubles et labiles. Pourtant la distribution générale des profils de HAPs dans la stalagmite n'est liée ni à la fraction insoluble, ni aux indices qualitatifs de la matière organique (spectrofluorescence) ce qui semble montrer des modes de transfert plus complexe qu'un simple transfert contrôlé par la plus faible hydrophobicité des composants ou par une complexation avec les matières organiques plus solubles.

Du point de vue paléoenvironnemental, la présence quasi exclusive de HAPs légers au sein de la calcite interdit toute utilisation des indicateurs classiques de source ou de type de combustions développés à partir des HAPs lourds. Ainsi, l'utilisation des HAPs ne semble pas très intéressante pour l'étude des paléoenvironnements. Par contre, leur transport fournit des indications intéressantes sur le mode de transfert de ces composés organiques très peu solubles du sol vers l'aquifère puis vers le piège sédimentaire.

Isolement et caractérisation des lignines dans les sols : application de la méthode dite 'Milled Wall Enzymatic Lignins'

Mathieu Thevenot¹, Marie-France Dignac¹, Nicolas Pechot¹, Haithem Bahri¹, Catherine Lapierre², Gérard Bardoux¹, Cornelia Rumpel¹

¹ UMR Bioemco, INRA-CNRS-Université Paris 6, 78850 Thiverval-Grignon

² UMR de Chimie Biologique, AgroParisTech-INRA, 78850 Thiverval-Grignon

Avec la cellulose, les lignines sont parmi les molécules végétales les plus abondantes et sont considérées comme un élément majeur des matières organiques des sols (MOS). La méthode principalement utilisée pour les étudier dans les sols est l'oxydation alcaline à l'oxyde cuprique (CuO) suivie du dosage des monomères issus des lignines. Cette méthode est notamment utilisée pour évaluer leur renouvellement et leur dynamique (Dignac *et al.*, 2005 ; Bahri *et al.*, 2006). Cependant, elle ne donne accès qu'à une partie des lignines totales, en raison de la dépolymérisation et de l'oxydation incomplètes des lignines (Otto et Simpson, 2006). L'isolement de lignines peu modifiées par des méthodes combinant ultrabroyage de l'échantillon et hydrolyse des polysaccharides a permis de mieux caractériser ces polymères dans les végétaux. Il s'agit notamment de la méthode permettant l'obtention d'une fraction de lignines nommée "Milled Wall Enzymatic Lignin (MWEL)", (Pew, 1957; Lapierre *et al.*, 1986; Bahri *et al.*, 2008). L'objectif de ce travail est d'évaluer l'apport de cette méthode pour l'étude des lignines dans les sols.

Dans une chronoséquence C3/C4, les lignines du sol ont été isolées à l'aide de cette méthode dans différentes parcelles plantées en blé (C3) ou en maïs (C4) depuis 3, 6 et 9 ans. Les lignines ont également été isolées par la même méthode dans les végétaux correspondants. Pour les sols, une déminéralisation a été préalablement réalisée à l'acide fluorhydrique à 10%. Une oxydation au CuO a aussi été réalisée sur les mêmes échantillons. La teneur en ¹³C a été mesurée sur les monomères séparés en chromatographie en phase gazeuse (CG) et par analyse élémentaire sur les MWEL. Ces dernières ont aussi été caractérisées par pyrolyse couplée à la CG et spectrométrie de masse (SM).

Les résultats obtenus en appliquant la méthode MWEL aux lignines des sols et des végétaux sont les suivants. Dans le sol, les quantités de lignines et de monomères de lignines isolés par MWEL et CuO sont du même ordre de grandeur (0.10 à 0.35 mg CO g⁻¹ sol). De plus, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ mesurées pour les lignines MWEL (-30 à -26‰) sont similaires à celles mesurées pour la méthode au CuO sur sol entier (-33 à -25‰). Des résultats identiques ont été obtenus pour les végétaux. Ces mesures suggèrent l'efficacité de la méthode MWEL pour l'étude des lignines dans les sols. Par ailleurs, la pyrolyse-CG-SM suggère que l'isolement des lignines est plus efficace à partir des sols que des plantes, les fractions isolées des sols étant moins contaminées par les polysaccharides (Dignac *et al.*, 2008). Les méthodes spectroscopiques, tel que la ¹³C-RMN, pourraient permettre non seulement l'estimation relative des teneurs en polysaccharides et en lignines dans les fractions MWEL, mais aussi la caractérisation des structures non accessibles par dégradation chimique et présentes dans les échantillons. En conclusion, la méthode MWEL peut être utilisée en complément de la méthode au CuO pour caractériser les lignines des sols et estimer leur dynamique. L'utilisation conjointe des deux méthodes permettrait alors une meilleure compréhension des mécanismes de dégradation et de stabilisation des lignines.

Bahri H., Dignac M.-F., Rumpel C., Rasse D.P., Chenu C., Mariotti A., 2006. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 1977-1988.

Bahri H., Rasse D.P., Rumpel C., Dignac M.-F., Bardoux G., Mariotti A., 2008. *Soil Biology & Biochemistry*, In Press.

Dignac M.-F., Bahri H., Rumpel C., Rasse D.P., Bardoux G., Balesdent J., Girardin C., Chenu C., Mariotti A., 2005. *Geoderma* 128, 3-17.

Dignac M.-F., Péchot N., Thevenot M., Bahri H., Lapierre C., Bardoux G., Rumpel C., 2008. *Journal of Applied and Analytical Pyrolysis*, Accepted.

Lapierre C., Monties B., Rolando C., 1986. *Holzforchung* 40, 113-118.

Otto A., Simpson M.J., 2006. *Biogeochemistry* 80, 121-142.

Pew J.C., 1957. *Tappi* 40, 553-558.

Liste des auteurs

A

Abril G, 36
Alaoui-Sossé B, 98
Alaoui-Sossé L, 98
Alberic P, 33
Albrecht A, 38
Albrecht R, 123
Alexis MA, 124
Allard B, 125
Allard T, 13
Alvarez G, 19
Amblès A, 93
Amezghal, 72
Amin B, 20
Amouroux D, 36
Andanson L, 19
Angers D, 12, 44, 50
Annabi M, 92
Arnaud F, 15, 27, 32
Assafi M, 72
Aubert M, 29
Auger D, 79
Auvray I, 21, 83

B

Badot PM, 98
Badri A, 105
Bahri H, 139
Baldy V, 39, 57
Balesdent J, 14, 55
Ballini C, 57
Bancon-Montigny C, 132
Baptist F, 22
Barbier G, 50
Bardoux G, 59, 124, 139
Bardy M, 13
Barnier C, 73
Barot S, 23
Barré P, 23
Barret M, 65
Barriuso E, 74, 82
Basile-Doelsch I, 14
Batiot-Guilhe C, 126, 132
Beaugrand J, 20
Béchet B, 78
Beguiristain T, 68
Bellon E, 112
Benbrahim M, 98
Benedetti M, 13, 33, 135
Benizri E, 53
Benoit P, 74, 76, 77, 92, 106, 131
Berge O, 55
Bergheaud V, 82
Bernard L, 55, 56
Bernard O, 86
Bernet N, 77, 131
Berthe L, 102
Berthelin J, 21, 83
Bertrand I, 20, 24
Besombes JL, 69

Bessueille F, 136
Biache C, 68, 75, 91, 117
Billaud Y, 15, 32
Blanchart E, 56
Blondel T, 120, 126, 127
Bodineau G, 76, 92, 106
Borschneck D, 14
Bottero JY, 67
Bouchard A, 87
Bouchet S, 36
Boudenne JL, 119
Bourrat X, 116
Boussafir M, 45
Boutier B, 79
Brauman A, 56
Bréheret JG, 32
Briand C, 13
Bridou R, 36
Brient L, 66
Briois V, 67
Brookes PC, 11
Budzinski H, 115, 129
Bureau F, 29
Buttler A, 30

C

Cambier P, 76, 92, 106
Caria G, 76
Carrère H, 65, 95
Caubel J, 99
Caubel V, 100, 111
Cébron A, 68
Cecillon L, 51
Cellier A, 57
Chabbert B, 20, 24
Chabbi A, 31, 40, 62
Chalmin É, 128
Chaplot V, 41
Chapron E, 15, 32
Chapuis-Lardy L, 56
Chaurand P, 67
Chenouf S, 107
Chenu C, 23, 52
Chotte JL, 38, 56
Conti G, 22
Coquet Y, 106
Cordier MA, 132
Coulomb B, 119
Crocq A, 66
Croué JP, 31

D

Dabert P, 133
Daudin G, 132
David F, 27
De Junet A, 14
De Perre C, 115, 129
Debeire P, 20
Decaëns T, 29
Delannoy JJ, 27, 120

Delarue F, 25
Déléris S, 95, 118
Delgenes JP, 65
Delporte P, 29
Derenne S, 13, 58, 125
Derrien D, 14, 28
Derrien M, 130
Deschamps M, 76, 77, 131
Dessert C, 33
Deutsch L, 69
Di Rocco R, 121
Díaz S, 22
Dignac MF, 17, 23, 59, 60, 92, 139
Disnar J, 15, 25, 26, 27, 32, 45
Dissaux A, 116
Doan TT, 101
Doelsch E, 67
Domeizel M, 42, 121
Dorioz JM, 61, 120
Dorthe AM, 129
Doublet J, 96, 99
Doumenq P, 42, 121
Druilhe C, 102
Dudal Y, 118, 119, 120, 127, 132
Dumeny V, 82
Dupuy N, 42, 49
Durand-Vidal S, 86
Durin B, 78
Durrieu G, 84

E

Eglin T, 23
El Mghari Tabib M, 72
Elbaz-Poulichet F, 132
Emblanch C, 120, 126, 127
Epron D, 30
Esteve K, 133
Etcheber H, 36
Etievant V, 76

F

Fabiano AS, 126
Fanget B, 61, 69, 120, 128, 134, 138
Faure P, 68, 75, 81, 85, 91, 117
Feder F, 67
Feuillade G, 108
Fosse C, 58
Francez AJ, 30
François E, 95
Francou C, 76, 90, 96
Fritsch M, 13
Frommberger M, 21

G

Gaffet S, 127
Gaillard J, 33
Garaude S, 138
Garcia L, 110

Garnier C, 84
Garnier P, 23, **96**, 99, 110
Gaubert JY, **66**
Gaudet JP, 67
Gauquelin T, 39, 57
Gaury N, **66**
Génermont S, **92**, 110
Gers C, 39
Ghaleb B, 138
Gheribi-Aoulmi Z, 107
Ghislain T, **117**
Gibiat F, 55
Giguet-Covex C, 27
Gilbert D, 30
Girardin C, 23
Gleixner G, **14**
Gogo S, 25, **48**
Gonzalez JL, 79
Grasset L, 30
Grinand C, 38
Gros R, **49**, 57
Grosbellet C, 100, 111
Gruau G, 37, **66**, 80, 130
Guenet B, 23
Guénon R, **49**
Guiliano M, 42, **121**
Guimbaud C, 30
Guimont S, 85
Guittonneau S, **69**, 138

H

Haichar FZ, 55
Halim M, 72
Hatton PJ, 28
Haudin CS, **92**, 106
Hazemann JL, 67
Héas-Moisan K, **64**
Hedde M, 29
Heimbürger LE, 84
Henault C, 55
Hénin O, **66**
Hertkorn N, 21
Hien E, **94**, 103
Houot S, 59, 74, 76, 77, 82, **92**, **96**, 99, 103,
106, 109, 131
Huguet A, 58, 137
Hustache JC, 61

I

Ibalot F, **115**, 137
Imhoff M, 106

J

Jacob J, **15**, 26, 32, 45
Jaffrezic A, 80
Jaffrezic-Renault N, 136
Janot N, 135
Jardé E, 37, **66**, 80, 81, 130
Jeanneau L, 81
Joffre R, 123
Jouquet P, 101

K

Kaboré TW, 103
Kammoun-Rigane M, 104
Kemmitt S, **11**
Kettab A, 105
Khadro B, 136
Khalfaoui R, 105
Kleber M, 28
Kpogbemabou D, **93**

L

Labat C, 110
Laggoun-Déferge F, 25, 30, **48**
Lajtha K, 28
Lambeaux JL, 112
Lambert T, 37
Lapierre C, 139
Lashermes G, 82, **96**
Lavau A, 31
Laville P, **92**
Lavrieux M, 26, 32
Lazzarotto J, 27, 61
Le Cloirec P, 78
Le Coustumer P, 78
Le Floch G, **50**
Le Guillou C, **50**
Le Menach K, **115**, 129
Le Petit J, 123
Léauté F, **64**
Leglize P, 83
Legret M, 78
Legros S, 67
Leloup J, 23
Lemanceau P, 55
Lemée L, **93**
Lenoble V, 84
Leonard D, 136
Lerch T, 59, 60
Lévêque J, **51**, 55
Leyval C, **68**, **91**
Lloret E, 33
Lombard C, **120**, 127
Lopez E, **116**
Lottier N, 25
Louis Y, 84
Lovy L, 98

M

Maaroufi A, 72
Maazouzi A, 105
Machet JM, **16**
Machinet G, 24
Maillard E, 34
Mano MJ, 56
Mansuy-Huault L, 75, **91**
Mariotti A, 60
Marol C, 55
Maron PA, **47**, **51**, 55
Martin M, 109
Masfarauz JF, **68**
Masion A, 67

Masse D, **94**, 103
Massiani C, 102
Mchergui C, 59
Medhioub K, 104
Menasseri S, 44, **50**
Mériguet G, 86
Metzger P, 58
Michaud A, **92**, 106
Michels L, 75
Michels R, **117**
Miège C, **120**, 134
Mnif T, 104
Monserie MF, 87
Montagne D, **92**, 106
Montenach D, 106
Morel JL, 73
Morvan T, 44, 106
Mottet A, **95**
Mouchel JM, **70**
Mougel C, 55
Mounier S, 84, 88, 127
Mourier B, **120**
Muller M, **118**
Munier-Lamy C, **91**
Munschy C, **64**
Munson AD, 34
Muresan B, **70**

N

Namour P, 136
Neill C, 23, 35
Nguyen TV, 101
Nicolau R, 108
Niknahad-Gharmakher H, **16**, **53**
Norini MP, **68**
Nowak V, 55
Nunan N, 23, **52**, 60

O

Olivier N, **64**
Omanović D, 84
Ouahrani G, 107
Ouvrard S, **68**, 73, 85

P

Pablo AL, 56
Palacio-Barco E, **119**
Paré D, 34
Parlanti E, 36, 61, **115**, 129, 137
Parnaudeau V, 44
Parodi A, 108
Pascault N, **51**
Patureau D, **65**
Péchet N, 124, 139
Peltre C, **92**, 109
Pépin-Donat B, **120**, 127
Perissol C, 123
Pernet-Coudrier B, **70**
Pernin C, 39
Perrette Y, 61, **69**, **120**, 127, 128, 134, 138
Petitjean P, **66**

Petraud JP, 76
Philippot L, 56
Pierson-Wickmann AC, 37, **66**, 80, 130
Pissot N, **69**
Piutti S, **53**
Pižeta I, 84
Poitrenaud M, 76, 77, 82, **90**, **92**, 106
Poulenard J, 27, 61, **69**, **120**, 127, 128, 134,
138
Proix N, 76
Protière M, **120**, 127
Proux O, 67

R

Rabary B, 56
Rabeharisoa L, **94**
Rampon JN, 76, **92**, 106
Ranjard L, **51**, 55
Raynaud X, 23
Razakamanarivo H, 38
Razakavololona A, 38
Recous S, **16**, 24, **53**
Redon E, 108
Reiller P, 135
Relexans S, 36
Renat JC, 85
Richard B, 124
Rivoire E, **48**
Rizvi H, 39
Robert-Peillard F, **119**
Robin C, 73
Roger G, 86
Rose J, 67
Ruamps L, 23, **52**
Rumpel C, **17**, 22, 23, 40, 41, 62, 101, 124,
139
Rzafindrakoto MA, 38

S

Saber AI, **69**, 138
Saint-Macary H, 67
Sanaullah M, 62
Sansoulet J, 67
Schaub A, 106
Schmitt-Kopplin P, 21
Schwartz C, 85
Sere G, 87
Setier JC, 85
Sifeddine A, 45
Silvestre M, **69**
Simon NN, 110
Simonnot MO, **68**
Slezack-Deschaumes S, **53**
Steyer JP, **95**, **96**, **118**
Stolpe B, 78

T

Terrom G, 123
Thauvin P, 112
Thedevuide C, 22
Théraulaz F, 42, **121**
Thevenot M, **17**, 139
Tixier C, **64**
Toan TD, 101
Tremier A, 133
Tronczyński J, **64**
Truquet I, **64**
Turcq B, 45
Turq P, 86
Tusseau-Vuillemin MH, **70**

U

Usman, **53**

V

Vacher L, 137
Vachier P, 106
Valentin C, 41
Valentin N, 106
Valentin P, 106
Varrault G, **70**
Vassal N, 19
Vasseur P, **68**
Vedrenne F, **95**
Védrine H, 112
Vennetier M, **49**
Vergnoux A, 42, **121**
Viaud V, 43, 44
Vidal-Beaudet L, 100, 111
Villemin G, 87
Villeneuve J, 112
Vong PC, **53**

W

Walter C, 43
Watteau F, 87
Wavrer P, 112
Weber L, 56
Wörz K, 137

Z

Zahraoui B, 105
Zeller B, 28
Zhang Y, **96**
Zhao H, 84, 88
Ziarelli F, **49**
Zocatelli R, 45
Zombré NP, 103