

4^{ème} congrès du Réseau Matières Organiques
« La matière organique dans tous ses états »
4-7 février 2018 - Trégastel, Bretagne

Programme et résumés

PRESENTATION DU COLLOQUE

Le réseau propose un format original pour ce séminaire associant aux présentations classiques des travaux scientifiques (oraux et posters), des ateliers de réflexion collaborative.

Le séminaire est construit autour de 5 sessions d'une demi-journée chacune. Chaque session commence par une présentation générale introductive dont le but est de placer les enjeux et décrire les concepts actuels en lien avec la thématique. Cette présentation sera suivie de présentations orales classiques, qui donneront un premier aperçu des recherches menées en France. Cette vue sera complétée par les sessions "poster" qui se tiendront au moment des pauses café et en fin de journée.

Des ateliers autour de sous-thèmes transversaux permettront des échanges entre les participants en groupes réduits. Une restitution des ateliers sera ensuite présentée et discutée en plénière.

Comité scientifique

Marie-France Dignac, INRA, UMR Ecosys, Thiverval-Grignon

Claire Dumas, INRA Toulouse, UMR INSA/INRA 792 INSA/CNRS 5504

Ophélie Fovet, INRA Rennes, UMR 1069 SAS

Anne Jaffrezic, Agrocampus Ouest Rennes, UMR 1069 SAS

Emilie Jardé, CNRS Rennes, UMR 6118 Géosciences Rennes

Laurent Jeanneau, CNRS Rennes, UMR 6118 Géosciences Rennes

Ramiro March, CNRS Rennes, UMR 6566 CreAAH

Cécile Monard, CNRS Rennes, UMR 6553 ECOBIO

Thierry Morvan, INRA Rennes, UMR 1069 SAS

Anne-Catherine Pierson-Wickmann, UR1 Rennes, UMR 6118 Géosciences Rennes

Anne Tremier, IRSTEA Rennes, UR OPAALE

Soutien technique

Alain-Hervé Le Gall (communication, web), CNRS Rennes, OSUR

Géraldine Gourmil (secrétariat, gestion), UMR 6118 Géosciences Rennes/OSUR

Chantal Perot-Busnel (secrétariat, gestion), UMR 6118 géosciences Rennes/OSUR

Françoise Cozannet (secrétariat, gestion), CNRS Délégation Régionale Bretagne - Pays de la Loire

Dimanche 4 février 2018		
A partir de 17h00	Accueil / buffet de bienvenue / Introduction au séminaire (20h00)	
Lundi 5 février 2018		
8h30 - 12h10	Thème MO polluant et vecteur de micropolluants	
8h30 - 9h10	Conférence introductive	H Budzinski
9h10 - 10h10	3 Conférences sur le thème	
10h10 - 11h00	Pause / poster (MO polluant / biodiversité)	
11h00 - 12h00	3 Conférences sur le thème	
12h00 - 14h00	Déjeuner et balade iodée en bord de mer	
14h00 - 16h00	Thème MO et fossiles archéologiques	
14h00 - 14h40	Conférence introductive	A Lucquin
14h40 - 16h00	4 Conférences sur le thème	
16h00 - 17h00	Pause / poster (MO fossile / Cycle)	
17h00 - 19h00	Ateliers collaboratifs	
	Exploration sensorielle des MO	
	Prise en compte des MO dans l'évaluation environnementale	
	Caractérisation des MO	
	Atelier 4/1000	
19h30 - 21h00	Dîner	
21h - 21h40	Thème MO et biodiversité	
21h - 21h40	Conférence introductive	S Hättenschwiler
Mardi 6 février 2018		
8h30 - 10h30	Thème Valorisation de la MO	
8h30 - 9h10	Conférence introductive	T Bouchez
9h10 - 10h30	4 Conférences sur le thème	
10h30 - 11h00	Pause / poster (Tout thème)	
11h00 - 13h00	Ateliers collaboratifs	
	Modélisation	
	Propriétés spectroscopiques	
	Outils pédagogiques	
	Interprétation de signatures chimiques	
13h00 - 14h30	Déjeuner et pause iodée	
14h30 - 18h10	Thème MO et mécanismes de stockage	
14h30 - 15h10	Conférence introductive	I Basile-Doelsch
15h10 - 16h10	3 Conférences sur le thème	
16h10 - 17h10	Pause / poster (CarboSMS / Valorisation)	
17h10 - 18h10	3 Conférences sur le thème	
18h10 - 18h40	Pause / poster (Tout thème)	
18h40 - 19h20	Thème MO et cycles biogéochimiques	
18h40 - 19h20	Conférence introductive	G Gruau
19h20 - 20h30	Pause apéro poster discussions	
20h30 - 22h30	Dîner	
Mercredi 7 février 2018		
9h00 - 10h40	Thème MO et cycles biogéochimiques	
9h00 - 10h40	5 Conférences sur le thème	
11h00 - 12h00	Conclusion du séminaire	
12h45	Départ de la navette pour Guingamp	

SPONSORS



UMR 6118 CNRS/Université Rennes 1



UMR 6553 CNRS/Université Rennes 1



UMR 6566 CNRS/Université Rennes 1



UMR 1069 INRA/Agrocampus Ouest





Centre Inra Grand-Est
Route d'Amance
54280 CHAMPENOUX
France

Tél. : + 33 3 83 39 41 04
www.inra.fr/efpa



DÉPARTEMENT EFPA

ÉCOLOGIE DES FORÊTS, PRAIRIES ET MILIEUX AQUATIQUES

OBJECTIFS :

Gérer durablement, conserver et restaurer les écosystèmes forestiers, prairiaux et aquatiques, les ressources physiques et biologiques qui en dépendent et les productions de biens et de services qui y sont associées.

CONTEXTE ET MISSIONS :

Les activités du département EFPA concernent les écosystèmes faiblement anthropisés (forêts, prairies permanentes, écosystèmes dulçaquicoles), qui occupent environ 50% de la surface du territoire métropolitain et européen. Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte structuration spatiale et une biodiversité généralement élevée, et leur gestion requiert peu d'intrants (voire pas d'intrants du tout). Leur prise en compte est indispensable pour pouvoir analyser et gérer les flux et les cycles de matière et d'énergie ou la dynamique spatio-temporelle de la biodiversité. Les activités associées à leur gestion, en particulier dans le cadre du développement de l'économie circulaire et de la bioéconomie, recouvrent des enjeux multiples, notamment lorsqu'il s'agit de favoriser leur résilience vis-à-vis des perturbations ou de s'assurer de la durabilité des différents services qu'ils procurent.

.....
Dans ce contexte, les missions confiées au département EFPA sont de :

- Produire des connaissances sur la structure, le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes.
- Proposer des méthodes et stratégies pour la gestion durable des ressources et des milieux.
- Eclairer les politiques publiques autour des grands enjeux liés aux changements globaux.

Les travaux s'inscrivent dans un contexte de changement global marqué par les conséquences à l'échelle locale ou régionale des forçages anthropiques, qui induisent notamment des modifications de la composition de l'atmosphère, de la circulation atmosphérique et océanique, du climat et des cycles biogéochimiques (C, N, eau, etc.), des atteintes à la biodiversité, ou bien encore l'introduction de substances polluantes dans l'environnement. Les pressions se manifestent via une augmentation de l'utilisation des ressources naturelles et de la mondialisation des échanges, ainsi que par des modifications de l'usage des terres qui s'accompagnent d'une urbanisation et d'une artificialisation croissante des espaces (semi-)naturels.

Les recherches intègrent la question des options d'adaptation aux changements globaux, la capacité d'atténuation du changement climatique et les transitions écologique et énergétique. Elles mobilisent une combinaison d'approches complémentaires, associant observation, analyses synchroniques et allochroniques, expérimentation et modélisation, à des fins de simulation voire de prédiction. Les activités s'ancrent dans le paysage national et international des prospectives et expertises collectives sur le changement climatique, la biodiversité ou la bioéconomie. Dans ses dimensions finalisées et d'appui aux politiques publiques, ce schéma stratégique du département EFPA est aussi alimenté par plusieurs plans nationaux comme le plan Agriculture-Innovation 2025 ou le plan Recherche et Innovation 2025 pour la filière Forêt-Bois (#FBRI2025). Il a aussi pour ambition de contribuer aux actions à venir dans le cadre de l'initiative 4p1000 sur les sols pour la sécurité alimentaire et le climat. La gestion durable des écosystèmes et des ressources associées s'inscrit aussi dans un cadre législatif en forte évolution, notamment en lien avec la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte ou la loi pour la biodiversité.

ANIMATION SCIENTIFIQUE BASÉE SUR :

- ↳ 3 défis à vocation transdisciplinaire construits autour de problématiques finalisées,
- ↳ 4 champs thématiques à vocation plus disciplinaire.



Shimadzu, la référence en COT-mètre !

Pourquoi utiliser un COT-mètre?

Les COT-mètres sont des outils fiables et rapides de mesure de la charge polluante d'un effluent. Depuis plusieurs années, ils sont largement préférés à la DCO, méthode jugée trop lente, utilisant des réactifs toxiques et présentant des problèmes d'interférences. De plus, avec un COT-mètre la mesure du carbone organique et de l'azote total peut se faire sur la même injection.

Pourquoi choisir la gamme Shimadzu?

Leader historique depuis plus de 40 ans dans le domaine des COT-mètres, nous possédons une gamme complète d'appareils pour répondre à vos besoins. Nos instruments fonctionnent par oxydation chimique ou par combustion catalytique à 680°C sur catalyseur de Platine. De laboratoire ou en ligne, ils s'adaptent à vos échantillons grâce à une large panoplie d'accessoires optimisés pour les eaux usées, salées, de mer, naturelles, potables ou encore ultra-pures.

TOC-L

COT-mètre de laboratoire

- Oxydation par combustion catalytique
- Large plage de mesure de 4µg/L à 30 000mg/L C
- Passeur d'échantillons de différentes capacités
- Module azote total en option
- Logiciel intégré ou sous PC
- Analyse des matières en suspension

TOC-4200

COT-mètre en ligne

- Oxydation par combustion catalytique
- Système unique de traitement et d'injection de l'échantillon
- Jusqu'à 6 voies analysables
- 4 modèles de préleveur au choix
- Contrôle par Modbus
- Ecran tactile simple d'utilisation

TOC-V

COT-mètre de laboratoire

- Oxydation chimique
- Limite de détection à 0,5 µg/L
- Réduction de la consommation d'azote

www.shimadzu.fr

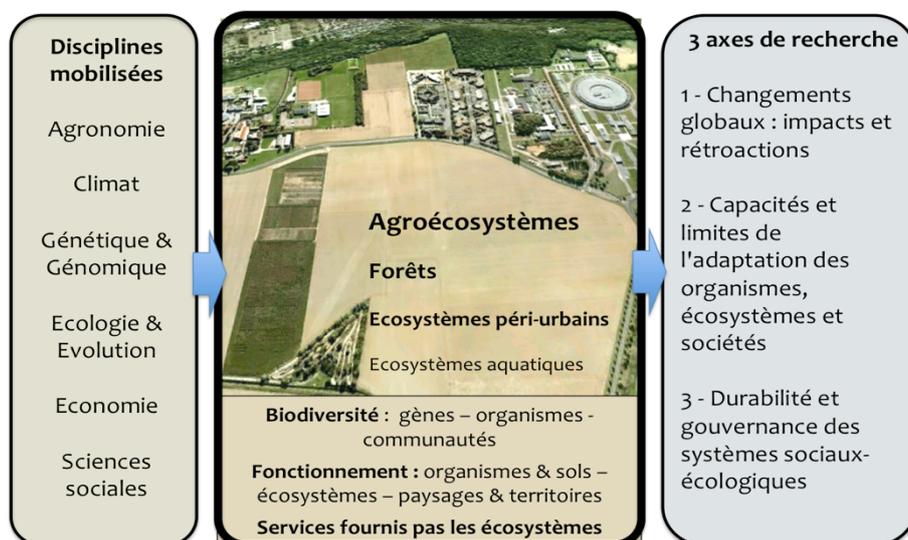
**LE LABEX BASC – BIODIVERSITE, AGROECOSYSTEMES, SOCIETE, CLIMAT
 ET LE RESEAU SOLFIT**

Le Laboratoire d'Excellence BASC (Biodiversité, Agroécosystèmes, Société, Climat) fédère treize laboratoires dans un programme de recherche multidisciplinaire orienté vers la compréhension et la prédiction de la dynamique des socio-écosystèmes dans le contexte des changements globaux, en particulier des changements climatiques.

Les travaux de BASC s'inscrivent dans trois grands enjeux sociétaux :

- la protection de l'environnement (biodiversité, climat, qualité de l'air, de l'eau et des sols) ;
- la production durable de nourriture, de bois et de bioénergie ;
- l'adaptation des organismes, des écosystèmes et des sociétés aux changements globaux.

Les travaux de recherche du LabEx sont multi-échelle, du gène à la région, avec une focalisation sur l'adaptation et la durabilité à l'échelle territoriale. Le LabEx participe également au développement de recherches avec des partenaires non académiques, ainsi qu'à la formation.



Dans la plupart des travaux du LabEx, le sol est un compartiment central du fonctionnement des agroécosystèmes en tant que support de la diversité biologique et facteur déterminant de la transition vers une agriculture durable et de la gestion durable des écosystèmes semi-naturels. Des travaux sur le changement d'usage des sols dans le cadre des transitions vers des territoires péri-urbains soutenables sont aussi développés avec la construction de scénarios et l'élaboration de modèles intégrés du paysage à la région.

Dans ce cadre, le réseau SOLFIT « Sols : Fonctions, Impacts, Territoires » a pour objectif de structurer la communauté du LabEx BASC pour le développement d'outils d'analyse, d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques fournis par les sols. L'animation du réseau a ainsi permis l'élaboration et le financement de différents projets de recherche par le LabEx, dont le projet phare en cours ASSETS – « ASsessing Ecosystem services in Transitioning agro-ecosystemS » qui vise à quantifier les services écosystémiques sur le plateau de Saclay, et à examiner comment ils sont influencés par les facteurs biophysiques, la gestion des écosystèmes et l'aménagement du territoire. D'autres projets ont également permis d'étudier des indicateurs portant sur l'approvisionnement, le support de biodiversité et la régulation des contaminants associés aux apports de produits résiduels organiques (PRO) ; l'impact des PRO sur les vers de terre et les enchytréides ; les possibilités de réduction de l'usage des engrais chimiques grâce au recours aux PRO et aux légumineuses ; la télédétection pour prédire la teneur en carbone organique des sols et élaborer des cartes thématiques des stocks de carbone dans les sols ; les technosols comme supports de biodiversité.

Pour plus d'informations sur le LabEx : www.inra.fr/basc

ATELIERS COLLABORATIFS

Deux séances d'ateliers collaboratifs sont proposées. Pour chacune de ces deux séances quatre ateliers sont proposés en parallèle avec une restitution en plénière.

La première séance aura lieu **lundi 5 février** en fin d'après-midi, autour des thèmes :

- **Exploration sensorielle des MO** (*Marie-France Dignac et Jérémy Jacob*)

L'analyse des matières organiques est appuyée par des techniques de plus en plus complexes, ce qui permet d'accéder à des informations quantifiées, parfois localisées à des échelles de plus en plus petites et avec des précisions de plus en plus fines. Et si nous faisons confiance à nos sens ? Quelle pourrait être la plus-value d'une exploration sensorielle de nos objets d'étude ? Quelle en serait la validité, à quel point est-ce objectif ? Cet atelier sera réalisé sous forme de travaux pratiques avec des grilles de lecture sensorielle par groupe puis un rendu final dans lequel les résultats de chaque groupe seront confrontés et l'approche discutée.

- **Comment prendre en compte la MO dans l'évaluation environnementale** (*Lynda Aissani et Anne Trémier*)

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie très utilisée pour l'évaluation des impacts environnementaux potentiels d'un produit, d'un service ou d'un procédé, comme par exemple les procédés et filières de valorisation des produits résiduels organiques avec retour au sol. Pourtant les impacts considérés dans l'ACV (changement climatique, eutrophisation des eaux, épuisement des ressources) ne prennent pas directement en compte les effets de l'apport de matière organique dans les sols. On se contente généralement de quantifier les substances phosphorées, azotées et carbonées en termes d'eutrophisation pour les deux premières et en termes de changement climatique pour les deux dernières. Aussi l'objectif de l'atelier sera-t-il d'échanger nos connaissances pour déterminer quelles interactions/liens existent entre les services et dyservices apportés par la matière organique et les impacts environnementaux classiquement évalués, quels services ou dyservices ne sont au contraire pas traduits dans l'analyse environnementale et quels indicateurs pourraient permettre de les évaluer.

- **Caractérisation de la MO** (*Pierre Faure et Laurent Rémusat*)

L'étude de la matière organique naturelle ou anthropique dans l'environnement nécessite le développement de nouvelles techniques de caractérisation. Cette matière organique correspond à un continuum moléculaire, de la simple molécule aux biogéopolymères, La grande diversité ainsi exprimée par cette MO (origine, nature, milieux) nécessite une approche pluridisciplinaire qui reste difficile à mener à cause du cloisonnement entre les disciplines et un vocabulaire différent. La MO présente aussi des interactions fortes avec le milieu naturel et la compréhension des phénomènes pilotant la réactivité et les modes de transfert des MO nécessite d'adapter l'échelle d'observation au processus étudié.

Cet atelier participatif visera à réfléchir ensemble sur les nouveaux besoins de caractérisation de la matière organique naturelle ou anthropique et sur les méthodes d'analyse émergentes. Nous aborderons les apports et les limitations des nouvelles techniques analytiques de caractérisation de la matière organique (moléculaire, spectroscopique, imagerie, isotopique) et les développements associés (mode d'ionisation, techniques de séparation). Nous réfléchirons sur la complémentarité entre l'instrumentation de terrain et les études en laboratoire utilisant des équipements lourds. La complémentarité de ces approches et la grande différence de résolution des informations obtenues seront discutées.

- **Atelier 4/1000** (*Pierre Barré et Cécile Monard*)

L'initiative 4 pour 1000 vise à montrer que l'agriculture, et en particulier les sols agricoles, peuvent jouer un rôle crucial pour la sécurité alimentaire et le changement climatique. Elle s'appuie sur l'estimation qu'une augmentation annuelle de 4 % du stock de carbone organique dans les sols permettrait de stopper l'élévation actuelle des concentrations de CO₂ atmosphérique. Cet atelier a pour objectif de discuter de l'augmentation du stock du carbone des sols comme levier majeur de régulation des émissions de gaz à effet de serre vers l'atmosphère.

La deuxième séance aura lieu **mardi 6 février** en fin de matinée, autour des thèmes :

- **Modélisation: couplages de modèles et représentation de la MO** (*Ophélie Fovet et Romain Girault*)

Selon les processus étudiés et les échelles de temps associées, la modélisation de la matière organique recouvre une grande diversité d'approches depuis des modèles de procédés (traitement, compostage...), en passant par les modèles de fonctionnement du sol (dynamique de la MOS), ou des modèles biochimiques de rivière, de bassins versants ou de lacs. Différents réservoirs de matières organiques sont conceptualisés dans ces modèles, et sont plus ou moins paramétrables en fonction de variables mesurées de nature diverse (teneur en carbone et en azote, propriétés d'absorbance et de fluorescence, propriétés d'extractibilité et autres caractéristiques biochimiques, dynamiques de minéralisation et de respiration...). Cet atelier a pour objectif de réfléchir aux différences de conceptualisation et de représentation de la matière organique dans les modèles, et aux conséquences pour le couplage de ces approches.

- **Propriétés spectroscopiques de la MO** (*Stéphane Mounier et Edith Parlanti*)

La spectroscopie UV-Visible est un outil rapide, sensible et pratique pour caractériser la matière organique. Ces dernières années des progrès importants ont été faits dans la mesure de fluorescence et plus particulièrement en spectroscopie de fluorescence 3D. La décomposition par l'algorithme CP/PARAFAC est couramment utilisée dans divers environnements et sur différents états de la matière organique. L'atelier cherchera à définir les précautions d'usage, les limites de la méthode et les perspectives de développement de cette technique dans des domaines tels que la fluorescence résolue en temps, la mesure on-field / on-line, la polarisation ou encore les mesures d'interaction de la MO avec son environnement.

L'atelier fera l'objet d'une présentation rapide (type review) sur

- 1) les applications sur la MO
- 2) les techniques différentes possibles

Puis pour l'animation de l'atelier les questions suivantes seront posées :

- 1-Quels freins technologiques ou de traitement de signal pour la MO?
- 2-Quels besoins expérimentaux et de terrain?
- 3-Sondes moléculaires? L'application chemométrique pourquoi?
- 4-Besoins en calibration et intercalibration?

- **Outils pédagogiques sur la MO** (*Anne Jaffrezic et Laurent Jeanneau*)

Les matières organiques sont au cœur d'enjeux sociétaux majeurs. Extraire la connaissance des laboratoires pour la diffuser dans la sphère publique est une nécessité pour une appropriation de ces enjeux par les citoyens. Les Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement (TICE) sont un levier pour diffuser les connaissances auprès d'une diversité de public. Une grande diversité de support (film, témoignage, cours type Université Virtuelle Environnement et Développement Durable-UVED) existe sur le thème des matières organiques. Les objectifs de cet atelier sont d'analyser les outils existants et d'initier un projet collectif de création d'une ressource pédagogique sur les MO.

- **Interprétation des signatures chimiques** (*Arnaud Huguet et Ramiro March*)

L'application des techniques isotopiques et moléculaires à l'étude de la matière organique dans les archives naturelles permet de répondre à de nombreuses problématiques scientifiques sur des échelles de temps très larges (époque moderne jusqu'à plusieurs centaines de millions d'années). Cet atelier conduira plus particulièrement à réfléchir à l'utilisation des traceurs organiques pour les reconstitutions archéologiques et paléoenvironnementales. Il s'intéressera aux outils disponibles, et aux dernières avancées analytiques. Il abordera par ailleurs les questions des sources (naturelles vs. anthropiques) et de la préservation de la matière organique dans l'environnement, et des biais liés à l'application et à l'interprétation des marqueurs organiques. Nous discuterons enfin de l'apport de la géochimie organique aux études interdisciplinaires réalisées sur les matériaux récents et anciens.

LISTE DES RESUMES

Liste des résumés par thème

La MO comme polluant et vecteur de polluants – Anthropisation du cycle du C; cycles des micropolluants métalliques et organiques

Conférence introductive Session MO et polluants

<i>Budzinski, Hélène</i>	<i>Erreur ! Le signet n'est pas défini.</i>
Contrôle de la dynamique des éléments traces par la matière organique dissoute dans les sols arctiques en dégel <i>Agnan, Yannick; Alexis, Marie A.; Kohli, A.; Pinta, L.; Anquetil, Christelle; Aubry, E.; Derenne, Sylvie; Castrec-Rouelle, Maryse</i>	24
Interaction des structures de porosité et des dynamiques microbiennes dans la dégradation des pesticides aux échelles micro- et millimétriques <i>Coche, Alexandre; Babey, Tristan; Rapaport, Alain; Vieublé-Gonod, Laure; Garnier, Patricia; de Dreuzy, Jean-Raynald</i>	25
La matière organique particulaire : un indicateur de l'état des dépôts de surface des filtres plantés de roseaux ? <i>Kania, Manon; Gautier, Mathieu; Michel Philippe; Gourdon, Rémy</i>	27
Influence des phases minérales des sols sur l'évolution d'une contamination pétrolière en contexte d'atténuation naturelle <i>Lebreton, Axel; Biache, Coralie; Beguiristain, Thierry; Lorgeoux, Catherine; Michels, Raymonds; Catteloin, D.; Cébron, A.; Pelletier, M.; Faure, Pierre</i>	28
Effets physicochimiques de la filtration et de l'ultrafiltration sur le fractionnement des isotopes de fer <i>Lotfi Kalahroodi, Elaheh; Guénet, Hélène; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine; Davranche, Mélanie; Ponzevera, Emmanuel; Rouxel, Oliver; LeCoz-Bouhnik, Martine</i>	30
Influence des conditions climatiques sur les caractéristiques de la Matière Organique Algale générée lors de phénomènes d'eutrophisation. Etude en culture de laboratoire de <i>Chlorella vulgaris</i> et <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Thuret Benoist, Hélène; Pallier, Virginie; Feuillade-Cathalifaud, Geneviève</i>	32

POSTERS Thème MO polluant et vecteur de polluants

P-1. Valorisation des matières anthropiques à haute teneur en matière organique : apport de la modélisation géochimique <i>Banc, Camille; Gautier, Mathieu; Lupsea-Toader, Maria; Blanc, Denise; Gourdon, Rémy</i>	36
P-2. Observation et rétro-observation du milieu urbain par des approches paléoenvironnementales exploitant les polluants comme traceurs. Cas du réseau d'assainissement d'Orléans Métropole <i>Jacob, Jérémy; Simonneau, Anaëlle; Thibault, Alexandre; Thiebault, Thomas; Le Milbeau, Claude; Di Giovanni, Christian; Sabatier, Pierre; Ardito, Luigi; Fougère, Laetitia; Destandau, Emilie; Morio, Cédric</i>	37
P-3. Oxydation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) et de leurs sous-produits par injection de ferrate de potassium dans la zone saturée <i>Johansson, Clotilde; Bataillard, Philippe; Biache, Coralie; Colombano, Stefan; Frayret, Jérôme; Joubert, Antoine; Lorgeoux, Catherine; Pigot, Thierry; Faure, Pierre</i>	38
P-4. La nature des interactions entre substances humiques et tensio-actifs cationiques révèle l'organisation moléculaire de la matière humique <i>Lartiges, Bruno; Chaaban, Abdul-Amir; Kazpard, Véronique; Caillet, Céline; Plisson-Chastang, Célia; Vicendo, Patricia</i>	40
P-5. L'héritage métallique dans les zones de montagne <i>Le Roux, Gael; Claustres, A.; Binet, S.; De Vleeschouwer, F.; Gandois, Laure; Hansson, S.V.; Mazier, F.; Simonneau, Anaëlle; Teisserenc, Roman ; Durantez, P. ; Camboulives, T.; Tavella, M. J. ; Rosset, T. ; Allen, D.; Marquer, L.</i>	42
P-6. Modélisation géochimique du comportement à la lixiviation des boues de filtres plantés de roseaux – une première approche <i>Lupsea-Toader, Maria; Blanc, Denise; Gautier, Mathieu; Martinez, Luis; Gourdon, Rémy</i>	43
P-7. Caractérisation intégrée de la matière organique dissoute d'eaux résiduares <i>Masson, Mathieu; Parlanti, Edith; Miège, Cécile; Arhror, M.; Brosse-Quilgars, C.; Richard, L.</i>	44
P-8. Evolution de la disponibilité des métaux au cours de la minéralisation des résidus de culture dans un sol agricole <i>Moreau, Clotilde; Vivien, Emma; Crouzet, Olivier; Cheviron, Nathalie; Denaix, Laurence</i>	46
P-9. Spectroscopie laser résolue en temps et quenching de fluorescence de la matière organique en interaction avec l'Europium <i>Nouhi, Ayoub; Hajjoul, Houssam; Redon, Roland; Gagné, Jean-Pierre; Mounier, Stéphane</i>	47
P-10. Co-adsorption de composés pharmaceutiques sur la goethite <i>Xu, Jing; Marsac, Rémi; Costa, Dominique; Wu, Feng; Boily, Jean-François; Hanna, Khalil</i>	49

**La MO comme fossile archéologique et paléontologique – Interaction Homme-milieu ;
paléoenvironnements ; processus de formation des signatures chimiques**

**Conférence introductive : La MO comme fossile archéologique – Interpréter les signatures chimiques pour
comprendre l'homme et l'environnement** *Lucquin, Alexandre* 53

**Création d'une base de données d'empreintes stanol pour identifier la présence de mammifères en contexte
archéologique** *Harrault, Loïc; Milek, Karen; Jardé, Emilie; Jeanneau, Laurent; Anderson, David* 54

$\delta^{18}\text{O}$ de stérols et triterpénols par GC-irMS : Est-ce bien raisonnable ? *Jacob, Jérémy; Bariac, Thierry; Fléhoc,
Christine; Blessing, Michaela; Zech, Michael; Fougère, Laetitia; Le Milbeau, Claude ; Landais, Amaëlle;
Destandau, Emilie*..... 56

Signature organique des foyers archéologiques - Application au site Aurignacien de Régismont-le-Haut *Lejay,
Mathieu; Alexis, Marie A.; Sellami, Farid ; Quénéa, Katell; Anquetil, Christelle; Bon, François* 57

**The organic matter in ceramics and associated soils from Yiou-Hsian-Fan site, Neolithic period in Southern
Taiwan: An experimental approach** *Yang, Feng-Ping; March, Ramiro J.; Thibaut Jean-Noël; Garnier, Philippe* ... 59

POSTERS Thème MO et fossiles archéologiques

**P-11. Evaluation des acides gras 3-hydroxylés d'origine bactérienne comme marqueurs d'environnement
dans les sols** *Huguet, Arnaud; Roussel, Anthony; Anquetil, Christelle; Gayraud, Félix; Coffinet, Sarah; Bergonzini,
Laurent; Bonanomi, Giuliano; Williamson, David; Majule, Amos; Derenne, Sylvie*..... 62

**P-12. Observation et rétro-observation du milieu urbain par des approches paléoenvironnementales
exploitant les polluants comme traceurs. Cas du réseau d'assainissement d'Orléans Métropole** *Jacob, Jérémy;
Simonneau, Anaëlle; Thibault, Alexandre; Thiebault, Thomas; Le Milbeau, Claude; Di Giovanni, Christian; Pierre
Sabatier; Ardito, Luigi; Fougère, Laetitia; Destandau, Emilie; Morio, Cédric* 64

P-13. Processus de formation des signatures lipidiques dans les sols : une approche expérimentale *March,
Ramiro J.; Guillou, C., Cordero, J. A.; Thiebault, J.; Garnier, Philippe*..... 65

**La MO comme moteur de la biodiversité – Resource nutritive ; Interactions biotiques ; communication
moléculaire**

Conférence introductive : Soil organic matter and biodiversity *Hättenschwiler, Stephan; Freschet, Grégoire*.. 70

POSTERS Thème MO et Biodiversité

P-14. Evaluation de l'impact de complément de fertilisation sur les microorganismes du sol *Blieux, Anne-
Laure; Dequiedt, Samuel; Maron, Pierre-Alain; Ranjard, Lionel; Yvin, Jean-Claude; Leménager, Diane* 73

**P-15. Réponse de l'activité microbienne de dégradation de la MOS en présence de différentes espèces
lombriciennes (épi-anéciques vs. anéciques stricts)** *Hoeffner, Kevin, Santonja, Mathieu, Cluzeau, Daniel,
Monard, Cécile* 74

**P-16. Réponse de la diversité bactérienne des sols agricoles aux pratiques de fertilisation organique et
conséquences sur les émissions de composés organiques volatils (COVs) vers l'atmosphère**
Potard, K. ; Monard, Cécile ; Le Bris, N. ; Caudal, J.P. ; Le Garrec, J.L. ; Binet, F. 75

P-17. Matières organiques anthropiques et biodiversité dans la genèse d'un Technosol construit *Watteau,
Françoise ; Villenave, Cécile; Piron, Denis ; Séré, Geoffroy ; Cortet, Jérôme* 76

**Valorisation de la MO – Bio-raffinerie; traitement des résidus organiques par des procédés biologiques;
processus de transformation** 77

**Conférence introductive : Bioraffineries environnementales : nouvelles technologies et nouveaux enjeux
autour de la valorisation de la matière organique résiduaire** *Bouchez, Théodore* 79

Caractérisation thermique de la matière organique de déchets ménagers et biodéchets *Bayard, Rémy; de
Brauer, Christine; Benbelkacem, Hassen; Chamaa, Amr* 81

**Production de molécules plate-forme pour la valorisation de déchets solides : compréhension des processus
physiques et biologiques pour l'optimisation de la qualité du mélange d'acides gras** *Digan, L. ; Dubos, S.;
Mengelle, E. ; Horgue, P.; Debenes, t G. ; Paul, E. ; Pagès, C. ; Trably, E. ; Roux de Balmann, H.; Dumas, Claire* 82

Cinétiques de la minéralisation biologique de l'azote pendant la digestion anaérobie *Fisgativa, Henry;
Marcilhac, Cyril; Jaudoin, Caroline; Béline, Fabrice*..... 83

Impact d'amendements organiques sur la biomasse végétale et le transfert de carbone dans le sol *Lenhart,
Tobias ; Vidal, Alix; Dignac, Marie-France; Barthod, Justine; Biron, Philippe ; Richard, Patricia; Bariac, Thierry;
Rumpel, Cornelia* 84

POSTERS Thème Valorisation de la MO

P-18. Caractériser l'accessibilité de la matière organique : application à la prédiction de la minéralisation de l'azote organique en digestion anaérobie Bareha, Younes; Girault, Romain; Trémier, Anne.....	88
P-19. Optimisation de l'activité microbologique du sol par l'utilisation de complément de fertilisation Leménager, Diane; Guerif, Alexandre; Yvin, Jean-Claude.....	90
P-20. Caractérisation des produits résiduels organiques par Résonance Magnétique Nucléaire Rondeau-Mouro, Corinne; Debled, Marie; Cambert, Mireille; Daumoin, Mylène; Trémier, Anne.....	91

La MO et le stockage de C dans les sols – Mécanismes de stabilisation physique, chimique ; estimation des stocks (en lien avec CarboSMS)

Conférence introductive : Mécanismes de contrôle des stocks de carbone dans les sols : quelles questions de recherche pour le « 4 pour 1000 » ? Basile-Doelsch, Isabelle; Barré, Pierre; Derrien, Delphine; Dignac, Marie-France; Balesdent, Jérôme	94
Racines et rhizodéposition à l'origine de la matière organique des sols Abiven, Samuel; Studer, Mirjam; Friedli, Cordula; Hirte, Juliane	96
Estimation du stock de carbone organique et des facteurs influençant sa répartition dans les sols urbains ouverts de Paris et New York Cambou, Aurélie; Huot, Hermine; Shaw, Richard K.; Schwartz, Christophe; Cannavo, Patrice; Hunault, Gilles; Vidal-Beaudet, Laure.....	97
Prendre en compte la dynamique du carbone inorganique des sols dans les bilans carbone Chevallier, Tiphaine; Cardinael, Rémi; Cournac, L; Girardin, Cyril; Cozzi, T; Chenu, Claire.....	98
La matière organique des sols à l'échelle du paysage : résilience des agroécosystèmes aux changements d'usage. Le projet MOSAIC, étude d'un bassin versant rurale en Bretagne Panettieri, Marco; Guigue, Julien; Mathieu, Olivier; Thevenot, Mathieu; Le Guillou, Cédric; Nowak, Virginie Tripied, Julie; Faivre-Primot, Céline; Lelievre, Mélanie; Samuel Dequiedt; Horigue, Walid; Anne-Lise Santoni; Amiotte-Suchet, Philippe; Chemidlin, Nicolas; Maron, Pierre-Alain; Ranjard, Lionel; Leveque, Jean; Viaud, Valérie.....	99
Stockage de carbone dans les Technosols construits Rees, Frédéric; Dagois, Robin; Derrien, Delphine; Fiorelli, Jean-Louis; Watteau, Françoise; Morel, Jean Louis; Schwartz, Christophe; Simonnot, Marie-Odile; Séré, Geoffroy	100
Estimation des fractions labiles du COS par test de respiration, fractionnement granulo-densimétrique et analyse thermique – une comparaison de méthodes Soucémariadin, Laure; Cécillon, Lauric; Chenu, Claire; Baudin, François; Nicolas, Manuel; Savignac, Florence; Girardin, Cyril; Barré, Pierre.....	101

POSTERS Thème MO et stockage de C

P-21. Décomposition, persistance et stocks de la matière organique pyrogénique dans les écosystèmes terrestres Abiven, Samuel; Reisser, Moritz; Coppola, Alysha	105
P-22. Démêler l'écheveau des facteurs responsables de la dynamique du carbone Abiven, Samuel; Gonzalez, Beatriz	107
P-23. Compostage et lombricompostage avec des minéraux : influence sur les émissions de CO₂ pendant le compostage et après apport au sol Barthod, Justine; Rumpel, Cornelia; Dignac, Marie-France	108
P-24. Estimer le temps de résidence du carbone organique des sols à l'aide d'analyses thermiques Cécillon, Lauric; Soucémariadin, Laure; Baudin, François; Chenu, Claire; Houot, Sabine; Kätterer, Thomas; Lutfalla, Suzanne; Macdonald, Andy; van Oort, Folkert; Plante, Alain F.; Savignac, Florence; Barré, Pierre.....	109
P-25. Recyclage du carbone organique pétrogénique d'un régolite sur marnes (exemple des Terres Noires des Alpes de Haute Provence) Copard, Yoann, Chabaux, François, Pelt, Eric, Debret, Maxime, Di-Giovanni, Christian, Bakyono, Jean-Paul, Klotz, Sébastien, Lebouteiller, Caroline.....	110
P-26. Mise en place d'une méthodologie pour l'étude des matières organiques des sols de sites délaissés de Junet, Alexis; Hamon, Etienne; Maunoury-Danger, Florence; Biache, Coralie; Leglize, Pierre; Ouvrard, Stéphanie; Séré, Geoffroy; Jacob, Jérémy.....	111
P-27. La dépolymerisation de la matière organique : étape clef contrôlant la dynamique du carbone des sols Derrien, Delphine; Sainte-Marie, J.; Barrandon, Mathieu; Martin, F. ; Gelhaye, E.; Saint-André, Laurent.....	112
P-28. Potentiel de stockage du carbone dans les sols tropicaux sous culture Fujisaki, K.; Lardy L.; Razafimbelo, Tantely; Chotte, Jean-Luc; Albrecht, A.; Chevallier, Tiphaine.....	113
P-29. Associations organo-minérales dans les couches d'altération de biotite et dans l'espace interfoliaire de vermiculite Jesus van der Kellen, Ingrid; Klopfert, Jean; Derrien, Delphine; Turpault, Marie-Pierre	114
P-30. Evolution quantitative et qualitative des flux de carbone organique des sols à l'échelle du bassin versant en milieu subtropical. Exemple de la zone atelier de Cathedral Peak, Afrique du Sud Mathieu, Olivier;	

<i>Thevenot, Mathieu; van Rensburg, Sue; Abdalla, Khatab; Leveque, Jean; Amiotte-Suchet, Philippe; Santoni, Anne-Lise; Chaplot, Vincent; Everson, Colin</i>	115
P-31. Suivi en 'litter bag' de la biodégradation de fumier de bovins frais et séché : dynamiques comparées de la minéralisation C et observations en microscopie électronique à transmission <i>Morvan, Thierry; Watteau, Françoise; Germain, P.</i>	116
P-32. Impact de la préparation mécanique des sols en contexte de plantation forestière sur le carbone du sol <i>Quibel, Edouard; Juarez, Sabrina; Aubert, Michaël; Copard, Yoann; Richter, Claudine; Cécillon, Lauric; Collet, Catherine; Bureau, Fabrice</i>	117
P-33. Étude sur la structure et la mobilité de la matière organique des Spodosols Amazoniens, Brésil <i>Tadini, Amanda M.; Milori, Débora M. B. P. ; Mounier, Stéphane</i>	118
P-34. Incorporation de racines et de parties aériennes marquée au ¹³C dans le sol en présence de <i>Lumbricus terrestris</i>: une approche isotopique et moléculaire <i>Vidal, Alix; Quenea Katell; Alexis, Marie; Nguyen, Tu Thanh Thuy; Anquetil, Christelle; Derenne, Sylvie</i>	119

La MO au cœur des cycles des éléments – Processus biogéochimiques impliqués dans les cycles des nutriments (C, N, P...)

Conférence introductive : Source, production et transfert des matières organiques dissoutes dans les bassins versants : éclairages apportés par 10 années de recherche sur le bassin-versant de Kervidy-Naizin, ORE Aghrys <i>Gruau, Gérard</i>	123
L'ancienneté et la nature de la couverture du sol comme facteurs de modulation du stockage de carbone et du fonctionnement microbien en prairie permanente <i>Amiaud, Bernard; Olry, Jean-Charles; Genestier, Julie; Fauvet, Aude; Piutti, Séverine</i>	124
Evolution saisonnière de la signature isotopique et moléculaire des MOD des solutions de sol : identification d'un transfert de MOD à l'échelle du versant <i>Denis, Marie; Jeanneau, Laurent; Gruau, Gérard; Petitjean, Patrice; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine; Humbert, Guillaume; Jaffrezic, Anne; Viaud, Valérie</i>	126
Variation des émissions de composés organiques volatiles carbonylés dans différentes végétations de tourbière <i>Gogo, Sébastien; Poursat, Antoine; Ait Helal, Warda; Guimbaud, Christophe, Melhouki, Wahid, Laggoun-Défarage, Fatima</i>	128
Est-ce possible pour les sols agricoles d'agir à la fois comme puit de carbone et source d'azote ? <i>Samson, Marie-Élise; Chantigny, Martin; Angers, Denis; Menasseri-Aubry, Safya; Vanasse, Anne</i>	129
La biogéochimie du cycle du carbone dans les régions subarctiques (les lacs thermokarstiques) <i>Shirokova, Liudmila S.; Manasyrov R.M. ; Ivanova, I.S.; Zabelina, S.A.; Chupakov, A.V.; Shorina, N.V.; Payandi-Rolland, Dahedrey; S.N. Kirpotin; Pokrovsky, O.S.</i>	131

POSTERS Thème MO et cycles biogéochimiques

P-35. Impact des Phosphates sur l'aromaticité de la matière organique dissoute chromophore en lacs artificiels <i>Blottière, Lydie; Rochelle-Newall, Emma et le consortium du Projet « Colombe »</i>	135
P-36. Variabilité temporelle de l'effet des pratiques agricoles sur les matières organiques dissoutes des sols et des eaux de rivière <i>Humbert, Guillaume; Parr, Thomas B. ; Jeanneau, Laurent; Dupas, Rémi; Petitjean, Patrice; Akkal-Corfini, Nouraya; Viaud, Valérie; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine; Denis, Marie; Inamdar, Shreeram; Gruau, Gérard; Durand, Patrick; Jaffrézic, Anne</i>	136
P-37. Détermination des sources de MO particulaire exportée pendant des crues le long d'un bassin versant de tête : développement de l'empreinte moléculaire <i>Jeanneau, Laurent; Rowland, Richard; Inamdar, Shreeram</i>	137
P-38. Stimulation et maîtrise électrochimique de la biodégradation de la matière organique en milieux aquatiques <i>Jobin, Lucas; Breil, Pascal; Namour, Philippe</i>	138
P-39. Les taux de dénitrification dans les zones humides riveraines de la Seine sont influencés par la quantité de carbone plutôt que par la qualité <i>Laverman, Anniét; Anquetil, Christelle; Derenne, Sylvie</i>	139
P-40. Utilisation de variables liées aux propriétés des sols et aux pratiques agricoles pour prédire le potentiel de minéralisation de l'azote <i>Petitjean, Caroline; Philibert, Aurore; Manneville, Vincent; Amiaud, Bernard; Piutti, Séverine</i>	140
P-41. Land use and agricultural practices drive C-mineralization activities through bacterial biomass and key fungal families in Madagascar Highlands <i>Razanamalala, Kanto; Razafimbelo, Tantely; Maron, Pierre-Alain; Ranjard, Lionel; Chemidlin, Nicolas; Dequiedt, Samuel; Deffontaines, Sylvain; Becquer, Thierry; Trap, Jean; Blanchart, Eric; Bernard, Laetitia</i>	141

P-42. Le Priming effect généré par décomposition stœchiométrique et extraction des nutriments dans les sols cultivés tropicaux : acteurs et déterminants Razanamalala, Kanto; Fanomezana, Rota Andrea; Razafimbelo, Tantely; Chevallier, Tiphaine; Trap, Jean; Blanchart, Eric; Bernard, Laetitia	143
P-43. Le cycle du carbone des lacs thermokarstiques de la toundra « Bolshezemelskaya » Shirokova, Liudmila S.; Ivanova, I.S.; Zabelina, S.A. ; Chupakov, A.V.; Manasyrov, R.M.; Payandi-Rolland, Dahedrey; Pokrovsky, O.S.	145
P-44. Origine et dynamique de la matière organique dans l'estuaire de Seine : approche globale et moléculaire Thibault, Alexandre; Huguet, Arnaud; Parlanti, Edith; Anquetil, Christelle; Parot, Jérémie; Micheau, Clara; Mourad, Harir; Schmitt-Kopplin, Philippe; Derenne, Sylvie.....	147

MO polluant et vecteur de micropolluants

La MO comme polluant et vecteur de polluants

Anthropisation du cycle du C; cycles des micropolluants métalliques et organiques

ORAUX

MO polluant et vecteur de micropolluants

Conférence introductive Session MO et polluants

Denaix, Laurence

Contrôle de la dynamique des éléments traces par la matière organique dissoute dans les sols arctiques en dégel

Agnan, Yannick; Alexis, Marie A.; Kohli, A.; Pinta, L.; Anquetil, Christelle; Aubry, E.; Derenne, Sylvie; Castrec-Rouelle, Maryse

Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols (METIS), UMR 7619, Sorbonne Universités UPMC–CNRS–EPHE, 4 place Jussieu, F-75252 Paris, France

Les sols arctiques représentent environ 50 % du carbone organique (CO) stocké dans les sols mondiaux. L'augmentation récente des températures dans ces régions de hautes latitudes induit la fonte progressive du pergélisol, favorisant l'épaississement de la couche active qui alterne saisonnièrement entre gel et dégel.² Ce réchauffement entraîne la décomposition de la matière organique (MO) sous forme de la matière organique dissoute (MOD) connue comme vecteur d'éléments minéraux tels que les éléments traces (ET).³ Notre objectif est d'évaluer : (1) le rôle de la qualité et de la quantité de la MOD produite dans les sols arctiques sur la dynamique des ET potentiellement toxiques et (2) l'évolution probable dans un contexte de changement climatique. Pour ce faire, des échantillons de sols et de végétation ont été collectés dans deux sites d'études : Toolik Field Station en Alaska aux États-Unis (température annuelle moyenne de $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, tundra sur pergélisol continu) et Abisko Scientific Research Station en Suède ($-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, tundra et forêt boréale sur pergélisol discontinu). Ces deux sites présentent des similitudes concernant la latitude (68°N) et la distance à l'océan Arctique (200 km). Nous pouvons ainsi considérer Abisko comme une projection climatique de Toolik.

Les teneurs en carbone et azote ont été mesurées par analyse élémentaire. La MO de sols de chaque écosystème a été caractérisée par résonance magnétique nucléaire (RMN) ^{13}C à l'état solide, permettant de déterminer la proportion des quatre types de fonctions chimiques d'intérêt (alkyl, O-alkyl, aromatique et carbonyle). En parallèle, des extractions de sols au CaCl_2 (0,25 mM) ont permis de mimer la fraction dissoute (MOD et ET associés) des sols de Toolik et d'Abisko. Le carbone dissous a été quantifié et caractérisé par UV ; une caractérisation par fluorescence est actuellement en cours. Les ET (par exemple As, Cd, Se, Zn) ont été analysés dans les fractions totales et solubles par ICP–OES et ICP–MS.

En dépit d'une grande variabilité des concentrations en carbone (0,6–49,7 %) et azote (0,04–2,4 %), les rapports C/N restent relativement homogènes ($20,2 \pm 7,3$). Ceci montre une faible dégradation de la MO des sols arctiques. En revanche, la quantité de MOD (en $\text{mg} \cdot \text{g}_{\text{sol}}^{-1}$) est corrélée à la teneur en carbone dans le sol, alors que son extractabilité (en $\text{mg} \cdot \text{g}_{\text{CO}}^{-1}$) augmente avec l'aromaticité (SUVA) de la MO. La caractérisation de la MO indique que la variabilité intra-site domine la variabilité inter-sites en raison de la grande diversité du couvert végétal, et donc de la source de MO. Dans des écosystèmes comparables, la décomposition de la MO est plus marquée en Laponie suédoise plus « chaude » qu'en Alaska : par exemple, rapports C/N et extractabilité de la MOD évoluant avec la profondeur et rapports alkyl/O-alkyl supérieurs à Abisko. L'extractabilité de certains éléments semble corrélée à la quantité de MOD produite par les sols (cas du Zn), alors que celle d'autres ET est anti-corrélée à son aromaticité (cas du Co). La MO récemment activée avec le changement climatique et faiblement décomposée pourrait donc constituer un important vecteur de transfert des ET.

¹ Tarnocai et al. (2009). *Glob. Biogeochem. Cycles* 23(2): GB2023

² Åkerman et Johansson (2008). *Permafrost. Periglacial Process.* 19(3): 279–292

³ Gangloff et al. (2014). *Geochim. Cosmochim. Acta* 130: 21–41

Interaction des structures de porosité et des dynamiques microbiennes dans la dégradation des pesticides aux échelles micro- et millimétriques

Coche, Alexandre¹; Babey, Tristan¹; Rapaport, Alain²; Vieublé-Gonod, Laure³; Garnier, Patricia⁴; de Dreuzy, Jean-Raynald¹

1 Géosciences Rennes UMR CNRS 6118, Rennes, France

2 MISTEA, Univ. Montpellier, INRA, Montpellier SupAgro, France

3 UMR Ecosys, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval Grignon, France

4 UMR Ecosys, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval Grignon, France

Les microorganismes du sol remplissent une fonction écosystémique majeure en dégradant de nombreux contaminants et composés chimiques, incluant des polluants agricoles tels que les pesticides, atténuant ainsi leur dispersion dans l'environnement et contribuant aux cycles biogéochimiques. Décrypter les mécanismes impliqués à l'échelle microbienne apparaît être un point-clé pour comprendre la variabilité de l'efficacité d'épuration entre les sols, et pourrait permettre ainsi d'améliorer les pratiques culturales dans l'objectif d'une agriculture durable.

Une grande incertitude persiste sur l'activité microbienne des sols en dehors des hotspots. Les sols font en effet partie des habitats microbiens les plus hétérogènes sur Terre, avec des distances de séparation entre les pesticides et les microorganismes capables de les dégrader suffisamment grandes pour pouvoir appréhender cet habitat comme un « désert » pour les microorganismes. Dans ce contexte, en plus des limitations physicochimiques et cataboliques, l'accessibilité spatiale des pesticides et de leurs dégradeurs pourrait être une limite primaire de la biodégradation.

L'objectif de ce travail est de formaliser l'interaction entre les processus spatiaux résultant des structures de porosité du sol et les processus microbiens en jeu dans la biodégradation.

Nous avons développé deux modèles de transport réactif, aux échelles micrométriques et millimétriques (Babey *et al.*, 2017), dans le but d'étudier les impacts i) des distributions initiales des microorganismes et de leur substrat, ii) des modalités de diffusion et iii) des modalités d'advection, sur la biodégradation (fig. 1). Les processus chimiques et de transport ont été calibrés sur des expériences réalisées sur la dégradation du 2,4D par des microorganismes autochtones dans des colonnes centimétriques de sol réassemblé, en conditions contrôlées de diffusion, d'advection et de distributions initiales (Pinheiro *et al.*, 2015 ; Pinheiro *et al.*, non publié encore). Un certain nombre de processus microbiens (concernant la croissance, physiologie, mortalité, mobilité, recyclage des nutriments...) ont été explorés pour comprendre de quelle manière ils interagissaient avec les conditions contrôlées.

Nous formalisons nos résultats à l'aide de descripteurs génériques d'exposition des microorganismes à leur substrat.

Les différences importantes entre les conditions dominées par l'advection et celles dominées par la diffusion indiquent des couplages spatiotemporels étroits entre les processus biologiques, chimiques et de transport. Nous montrons comment les paramètres spatiaux (distributions initiales et transport) affectent l'exposition différemment selon l'échelle. L'interaction de la capacité potentielle des microorganismes à absorber leur substrat et de l'exposition effective des microorganismes à leur substrat donne lieu à des situations avec des efficacités de biodégradation contrastées.

Des hétérogénéités importantes de biodégradation peuvent émerger de l'interaction entre les processus non-linéaires spatiaux et biologiques. Les résultats nous orientent dans la conception de futures expériences destinées à valider les processus biologiques explorés ici.

Babey T, Vieublé-Gonod L, Rapaport A, Pinheiro M, Garnier P, de Dreuzy J-R. Spatiotemporal simulations of 2,4-D pesticide degradation by microorganisms in 3D soil-core experiments. *Ecol Model.* 2017 Jan;344:48–61.

Pinheiro M, Garnier P, Beguet J, Martin Laurent F, Vieublé Gonod L. The millimetre-scale distribution of 2,4-D and its degraders drives the fate of 2,4-D at the soil core scale. *Soil Biol Biochem.* 2015 Sep;88:90–100.

Annexe :

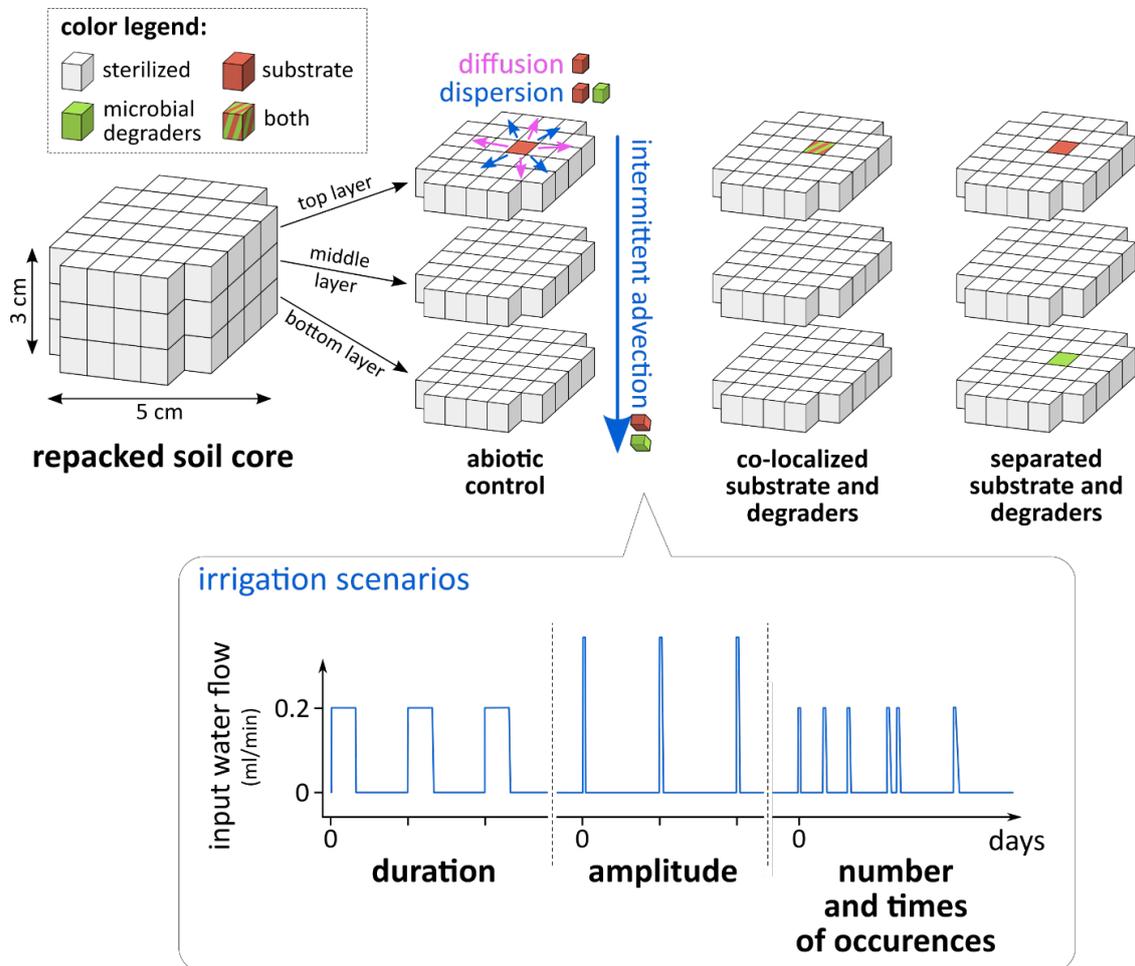


Fig. 1 – Vue d’ensemble du modèle millimétrique
 Figure adaptée d’un poster non-publié (Coche *et al.*, conférence SOM2017)

La matière organique particulaire : un indicateur de l'état des dépôts de surface des filtres plantés de roseaux ?

Kania, Manon¹; Gautier, Mathieu¹; Michel Philippe²; Gourdon, Rémy¹

1 Univ Lyon, INSA Lyon, DEEP (Déchets Eaux Environnement Pollutions), EA7429, F-69621 Villeurbanne Cedex, France - mathieu.gautier@insa-lyon.fr

2 SCIRPE, 5 Allée Alban Vistel, F-69110 Sainte-Foy-Lès-Lyon, France

Depuis la fin des années 90, le traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés de roseaux (FPR) s'est très largement développé, notamment en France. Avec plus de 3 500 stations, c'est même devenu le procédé le plus utilisé pour l'assainissement collectif des petites collectivités de moins de 2 000 équivalents habitants (EH). Des installations se développent également pour le traitement d'effluents industriels et des eaux pluviales. Parmi les différentes typologies de FPR, le « système français » comporte deux étages à percolation verticale à travers un massif filtrant. Sa spécificité est que les effluents arrivent bruts dans la filière, sans traitement primaire préalable. Les matières en suspension (MES) se déposent donc en surface du 1^{er} étage à un taux de 2 à 3 cm par an. Cela entraîne la formation d'une couche de dépôt, aussi appelé boue, dont la teneur en matière organique varie de 50 à 86% et dont l'évolution peut être assimilée à celle d'un anthroposol. L'alimentation se faisant alternativement par bâchée sur 3 cellules en parallèle, ces dépôts sont soumis à des cycles successifs d'humidification / séchage.

Malgré leur rôle primordial dans la performance des systèmes (ex : support de la biomasse bactérienne essentielle au traitement biologique aérobie, risques de colmatage, apport de carbone nécessaire à la dénitrification, rétention et/ou dégradation de polluants), ces dépôts ont été très peu caractérisés (Kim et al., 2013 ; Kim et al., 2015). Cette étude s'est intéressée aux dépôts de 14 stations en fonctionnement, dont les procédés de traitement et les dates de mise en fonctionnement diffèrent. Les objectifs étaient (i) de mieux comprendre l'évolution du dépôt, et notamment de sa matière organique (MO) constitutive, (ii) de réaliser une comparaison des dépôts de différentes installations, (iii) de définir des indicateurs pertinents de caractérisation.

Tous les échantillons ont été caractérisés par différentes méthodes d'investigation : granulométrie, analyses élémentaires, fractionnement de la matière organique en humine et en substances humiques et fulviques, analyses thermogravimétriques, biodégradabilité de la matière. Sur certains échantillons d'intérêt, des analyses complémentaires du type spectroscopie infrarouge à transformées de Fourier, extraction et analyses en fluorescence 3D et isotopie du carbone, de l'hydrogène et de l'azote ont été effectuées. Les résultats ont montré une influence de l'âge du dépôt, mais aussi de la chaîne de traitements mise en œuvre. Si des différences sont fortement marquées sur les premières années de fonctionnement, elles semblent cependant s'atténuer avec le temps et l'état des boues tendent vers un état assez similaire. Une perspective de ces travaux consiste à étudier l'influence de ces dépôts, par leurs caractéristiques physicochimiques, dans la rétention, ou la dégradation, de polluants organiques et inorganiques.

Kim B., Gautier M., Rivard C., Sanglar C., Michel P., Gourdon R. (2015) Effect of aging on phosphorus speciation in surface deposit of a vertical flow constructed wetland. *Environmental Science & Technology*. 49 (8), 4903–4910.

Kim, B., Gautier, M., Michel, P., & Gourdon, R. (2013). Physical–chemical characterization of sludge and granular materials from a vertical flow constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 68(10), 2257-2263.

Influence des phases minérales des sols sur l'évolution d'une contamination pétrolière en contexte d'atténuation naturelle

Lebreton, Axel¹; Biache, Coralie¹; Beguiristain, Thierry¹; Lorgeoux, Catherine²; Michels, Raymonds²; Catteloin, D.²; Cébron, A.¹; Pelletier, M.¹; Faure, Pierre¹

1 LIEC UMR 7360 Université de Lorraine – CNRS, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

2 GeoRessources UMR 7359 Université de Lorraine – CNRS – CREGU, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

Parmi les sites recensés dans la base de données française BASOL (ADEME) en tant que sites nécessitant une surveillance et/ou un suivi particulier, près d'un quart sont impactés par une contamination d'origine pétrolière. Celle-ci évolue au cours du temps à travers des processus abiotiques et biotiques puisque les hydrocarbures pétroliers sont connus pour être sensibles aux actions des microorganismes. Ces transformations peuvent provoquer une accumulation de produits résiduels réfractaires (i.e. composés de haut poids moléculaires et polyaromatiques polaires) au cours du temps. De plus, les phases minérales peuvent interagir avec la contamination et impacter le déroulement des différents processus de dégradation. Elles sont particulièrement connues pour jouer un rôle dans la sorption des molécules organiques influençant ainsi leur (bio)disponibilité. Elles peuvent par ailleurs (i) catalyser des réactions de condensation de certaines molécules notamment en contexte d'oxydation abiotique et (ii) favoriser la sélection de consortium microbiologique.

Un des questionnements importants de ce travail est ainsi de savoir dans quelle mesure la sélection des microorganismes est pilotée par la nature de la pollution et/ou par la nature des minéraux présents dans le sol contaminé. L'objectif de cette étude est d'appréhender le devenir *in-situ* d'une contamination complexe constituée de produits d'origine pétrolière sur le long-terme en étudiant la transformation de la contamination et l'évolution de sa répartition jusqu'à son accumulation en contexte biotique et abiotique dans les particules de sols (séquestration) suivant les caractéristiques minéralogiques.

Ces travaux combinent (i) des expériences en laboratoire, réalisées sous conditions contrôlées, qui simuleront les principaux processus impliqués dans l'atténuation de la contamination (oxydations abiotiques, incubations microbiennes), en présence de certains minéraux réactifs (minéraux argileux, oxydes métalliques, calcite...) ou inertes, avec (ii) des observations de terrain réalisées sur le site atelier de Pechelbronn (forêt d'Haguenau, Alsace). Ce site, présentant des sols de caractéristiques minéralogiques contrastées, est contaminé par de nombreuses résurgences de pétrole actives, pour certaines, depuis plusieurs siècles. La composition de la source pétrolière restant inchangée (origine d'une roche mère tertiaire), il est possible d'étudier un gradient spatial de la contamination avec différents niveaux d'atténuation naturelle en combinant des fractions minéralogiques et des consortia microbiologiques contrastés.

Une première campagne d'échantillonnage a été réalisée sur deux sites dont le sol présente des textures contrastées (textures limono-argileuse et sablo-limoneuse). Les premiers résultats ont montré des gradients de contamination et de biodégradation de la résurgence vers la zone non impactée, marqués par de fortes teneurs en carbone organique et en soufre proche de la source, une évolution de l'empreinte moléculaire des composés organiques d'une signature "pétrole" vers une signature "naturelle" accompagnée d'une évolution des rapports moléculaires caractéristiques (C17/pristane, Carbone Préférence Index...). Concernant le compartiment microbien, une augmentation des activités de minéralisation à proximité de la source associée à une diminution de la densité microbienne peut indiquer une adaptation spécifique des microorganismes à la contamination.

Afin de préciser les processus impliqués dans l'atténuation naturelle de contamination et la sélection/adaptation des micro-organismes en lien avec les paramètres texturaux et minéralogiques, des expériences en laboratoire d'oxydations abiotiques et d'incubations microbiennes seront initiées prochainement.

Effets physicochimiques de la filtration et de l'ultrafiltration sur le fractionnement des isotopes de fer

Lotfi Kalahroodi, Elaheh¹; Guénet, Hélène¹; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine¹; Davranche, Mélanie¹; Ponzevera, Emmanuel²; Rouxel, Oliver^{2,3}; LeCoz-Bouhnik, Martine¹

1 Géosciences Rennes, UMR 6118, Univ. Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042, Rennes Cedex, France

2 IFREMER, Département Géosciences Marines, 29280 Plouzané, France.

3 Univ Hawaii, Dept Oceanog, Honolulu, HI 96822 USA

Le fer, quatrième élément le plus abondant sur la terre, possède 4 isotopes (⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe et ⁵⁸Fe). Dans l'environnement, le Fe est un élément sensible aux conditions de pH, redox et à la présence de ligands (*Stumm et Morgan, 1995; Zinder et al., 1986*). La variation des conditions physico-chimiques influence la concentration, la biodisponibilité et le transport du Fe et des éléments associés dans les eaux et les sols (*Stucki et al., 1988; Reddy et al., 2000*). Ces différents processus peuvent aussi engendrer un fractionnement des différents isotopes du fer, qui peuvent alors être utilisés comme un traceur de processus biogéochimiques (*Rouxel et al., 2008; Escoube et al., 2009; Ilna et al., 2013*). Cependant, aucun consensus réel n'a été obtenu sur les réactions biogéochimiques qui sont capables de fractionner les isotopes de Fe. En effet, les isotopes de Fe sont fractionnés par la variation des conditions redox (e.g., *Welch et al., 2003; Anbar et al., 2005*), la complexation (*Brantley et al., 2001*), les **interactions bactériennes** (e.g., *Crosby et al., 2007*), la **précipitation** (e.g., *Icopini et al., 2004; Skulan et al., 2002; Balci et al., 2006*).

De plus, parmi toutes les études réalisées sur la biogéochimie du Fe, de nombreux travaux ont démontré que la spéciation et la mobilisation du Fe est fortement influencée et contrôlée par la matière organique (MO) que ce soit sous forme dissoute, colloïdale ou particulaire (e.g., *Ilna et al., 2014; Escoube et al., 2015*). Cette étude est focalisée sur l'impact de la (ultra)filtration sur le fractionnement isotopique du Fe en présence de MO. Ces deux techniques ont été souvent utilisées pour l'étude de la spéciation des eaux naturelles, sans pour autant démontrer l'absence de fractionnement isotopique de la (ultra)filtration elle-même. En se basant sur les études précédentes, deux hypothèses ont été émises: 1) La (ultra)filtration ne modifie pas le $\delta^{56}\text{Fe}$ (*Ilna et al., 2013*), et 2) la complexation Fe-MO et la précipitation fractionnent les isotopes de Fe (*Brantley et al., 2001; Beard et al., 2003; Beard et al., 2010*).

Une expérimentation utilisant de la MO (Gascoyne Leonardite, IHSS) en présence de Fe(III) a été mise en place à différents pH. L'expérimentation a été réalisée par la préparation des solutions de: 1. Contrôle sans Fe 2. Contrôle sans MO 3. Complexation 4. Titration de la MO par Fe (produire de colloïde) 5. Colmatage

Les solutions ont été filtrées à 0.2 μm puis ultrafiltrées à 30 kDa et 5 kDa. Les concentrations en carbone organique dissous (COD), cations majeurs et trace par ICP-MS et la composition isotopique du Fe ($\delta^{56}\text{Fe}$) par MC-ICPMS ont été mesurées.

Ainsi, il a pu être montré que l'ultrafiltration (expérimentation de Contrôle sans MO) et la précipitation d'oxydes de Fe n'engendrent aucun fractionnement isotopique (Fig.1a). Les expériences de complexation et de titration ont révélé que la complexation abiotique fractionne les isotopes de Fe avec un $\Delta^{56}\text{Fe} = 0.3\text{‰}$ (Fig.1b et Fig.1c). Ce fractionnement est expliqué par la complexation préférentielle des isotopes lourds du Fe par la MO pour former des liaisons chimiques plus fortes (*Criss, 1999; Hoef, 2015; White, 2015*). Ceci est en accord avec les observations en milieu naturel (à des pH 6-6.5) (e.g. *Ilna et al., 2013*).

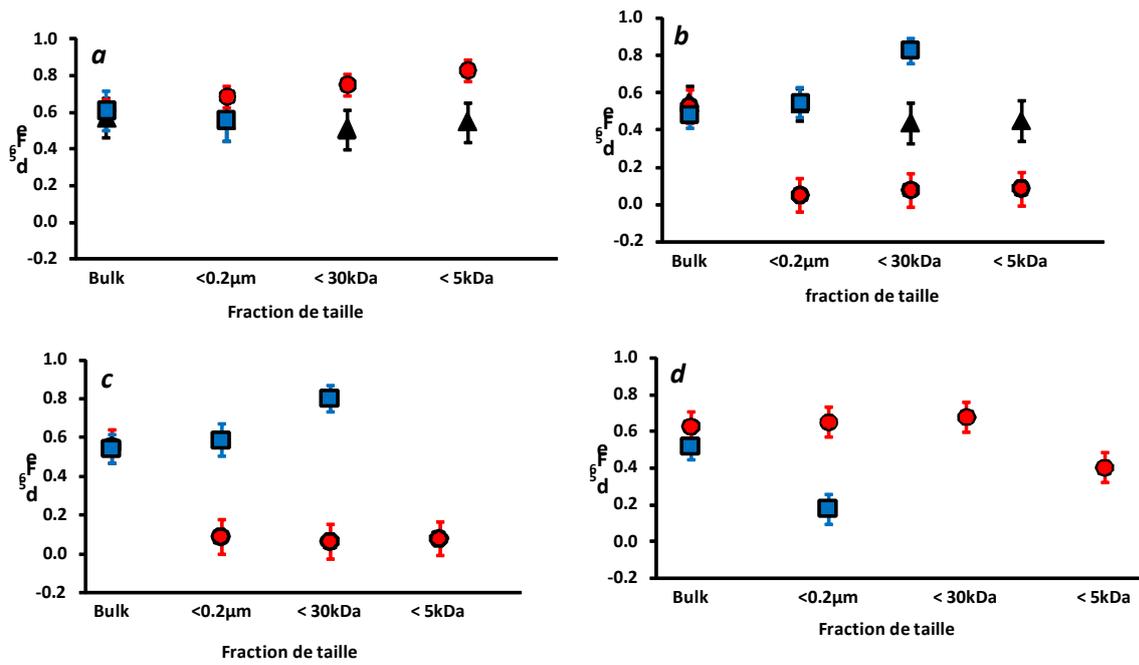


Fig.1 La composition isotopique du fer $\delta^{56}\text{Fe}$ en fonction de fraction de taille à <0.2 μm , <30kDa, <5kDa à l'expérimentation de a) contrôle sans MO b) complexation c) tirage de la Mo par le fer d) colmatage aux différents pH.

■ pH=1
 ■ pH=2
 ■ pH=6.5

Influence des conditions climatiques sur les caractéristiques de la Matière Organique Algale générée lors de phénomènes d'eutrophisation.

Etude en culture de laboratoire de *Chlorella vulgaris* et *Microcystis aeruginosa*

Thuret Benoist, Hélène; Pallier, Virginie; Feuillade-Cathalifaud, Geneviève

Université de Limoges - GRESE (Groupement de Recherche Eau, Sol, Environnement) – ENSIL – 16 rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex

Des apports excessifs en azote et phosphore dans les plans d'eau sont la cause principale de l'eutrophisation. L'intensité de la réponse varient selon l'écosystème, la localisation et les espèces. En revanche, les symptômes sont communs aux écosystèmes. Le plus notable concerne les proliférations du phytoplancton, plus limitées par les nutriments. Outre un impact sur l'écosystème et les activités récréatives, l'eutrophisation d'un plan d'eau utilisée comme ressource en eau potable, impacte les procédés de traitement des eaux. En effet, la MO produite par le phytoplancton – Matière Organique Algale (MOA) – présente des caractéristiques d'hydrophobicité et d'aromaticité différentes de la Matière Organique Naturelle (MON). Ces modifications vont affecter les procédés de traitements, notamment la coagulation-floculation. Cette étape, dont l'efficacité dépend de l'humification de la MO permet de combiner l'élimination de la MO et des toxines intracellulaires *via* les boues, avec des pourcentages atteignant 90% (Hall et al., 2000).

Les changements climatiques sont caractérisés par une augmentation de la température (+0.05°C/décennie), de l'intensité et fréquence d'orages et sécheresses (GIEC, 2013). Ces variations impactent les mécanismes intervenants dans l'eutrophisation et en amplifient les symptômes (Tableau 1).

Tableau 1: Effets en cascade du changement climatique sur la prolifération du phytoplancton.

Changements globaux	Changements physico-chimiques	Effets sur les blooms
↗périodes de sécheresse	↗temps de résidence de l'eau	++
	↘volume d'eau → ↗stratification	++
↗précipitations violentes	↗érosion → apports N et P	++
	Renouvellement de la masse d'eau	--
↗température	Stratification avancée dans la saison	++

L'effet d'une augmentation de température sur le développement de microalgues et la production de cyanotoxines a été étudié en laboratoire (Visser et al., 2016) et *in-situ* (Paerl & Huisman, 2009). L'évolution des caractéristiques de la MOA pendant la croissance de culture en laboratoire a fait l'objet d'études (Leloup et al., 2013). En revanche, il n'existe aucune étude de l'impact du changement climatique sur les caractéristiques de la MOA et les interactions avec les toxines libérées.

Dans le cadre du projet, l'impact des changements climatiques sur les proliférations est testé en laboratoire *via* différents régimes pluviométriques simulant des phénomènes extrêmes

(sécheresse, orage et ruissellement), et différents régimes thermiques (23°C – 15°C et 5°C). Les espèces considérées sont *Chlorella vulgaris* (CCAP 211/11B) et *Microcystis aeruginosa* (PMC 728-11), productrice de toxines MC-LR. Au cours des différentes phases de croissance, la MO générée est quantifiée et caractérisée par fractionnement selon son caractère hydrophobe et évaluation de son aromaticité et la concentration en toxines est déterminée.

Les premiers résultats confirment ceux de *Leloup et al. (2013)* : la MOA se compose essentiellement d'une fraction hydrophile (> 80% du COD en phase exponentielle). Lors du vieillissement, cette fraction diminue en faveur de fractions plus hydrophobes mais reste majoritaire. La température et les régimes pluviométriques n'ont pas d'effet significatif sur la MO issue de *C. vulgaris*. En revanche, l'augmentation de la température impacte la croissance et la concentration cellulaire de *M. aeruginosa* (fin de phase exponentielle : 15°C Abs_{750nm}=0,37, 23°C Abs_{750nm}=0.76). Sa MO est impactée par les variations hydriques : à 23°C, le pourcentage de la fraction HPI est supérieure en condition de sécheresse et la concentration en COD est inférieur en condition d'orage (T=84j) : sécheresse : 63 mgC.L⁻¹ contre orage : 41 mgC.L⁻¹).

GIEC. (2013). *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques*.

Hall, T., Hart, J., Croll, B., Gregory, R., 2000. Laboratory-scale investigations of algal toxin removal by water treatment, *Journal of the Institution of Water and Environmental Management* 14, 143-149

Leloup, M., Nicolau, R., Pallier, V., Yéprémian, C., Feuillade-Cathalifaud, G., 2013. Organic matter produced by algae and cyanobacteria: Quantitative and qualitative characterization. *Journal of Environmental Sciences* 25 (6), 1089–1097

Leloup, M., Nicolau, R., Pallier, V., Feuillade-Cathalifaud, G., 2013. Eutrophication impacts on characteristics of natural organic matter: A laboratory approach based on *Euglena gracilis* and *Microcystis aeruginosa* cultivation. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 171, 187–198

Paerl H., Huisman J., 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports* 1(1), 27–37

Visser P., Verspagen J., Sandrini G., Stal L., Matthijs H., Davis T., Paerl H., Huisman J., 2016. How rising CO₂ and global warming may stimulate harmful cyanobacterial blooms. *Harmful algae* 54, 145-159

POSTERS

MO polluant et vecteur de micropolluants

P-1. Valorisation des matières anthropiques à haute teneur en matière organique : apport de la modélisation géochimique

Banc, Camille; Gautier, Mathieu; Lupsea-Toader, Maria; Blanc, Denise; Gourdon, Rémy
Univ Lyon, INSA Lyon, DEEP Laboratory (Déchets Eaux Environnement Pollutions), EA 7429, F-69621
Villeurbanne Cedex, France camille.banc@insa-lyon.fr

La gestion des eaux usées est un enjeu sociétal important. Les processus de gestion impliqués aboutissent à la production de nouveaux déchets ou sous-produits de traitement. Parmi ces processus les procédés d'infiltration connaissent un essor considérable. Pour l'épuration des eaux usées domestiques, les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical se sont largement développés dans les petites collectivités. En milieu urbain et péri-urbain, la gestion des eaux pluviales fait souvent appel à des bassins de rétention et d'infiltration. Les boues ou sédiments produits sont riches en matière organique et contiennent des métaux (notamment éléments traces métalliques) ainsi que des nutriments (Kim et *al.*, 2013, Drapeau et *al.*, 2017). La lixiviation, sous différentes conditions, des éléments contenus dans ces sous-produits conditionnent les voies de valorisation et réutilisation envisageables.

La prise en compte de la matière organique dans la modélisation du comportement à la lixiviation de ces matrices d'origine anthropique constitue un enjeu d'importance. Cette étude doit permettre d'envisager différents scénarios tant pour la meilleure gestion de ces boues sur site (fonctionnement en conditions extrêmes de température, pH, redox...), que pour la gestion après extraction (envisager des voies de valorisation des boues et/ou de récupération des éléments d'intérêt), ceci étant d'autant plus important dans un contexte de raréfaction des ressources minérales. De plus, elle doit permettre de mieux comprendre le rôle de la matière organique dans la rétention de nutriments d'intérêts (phosphore, azote) et d'éléments traces métalliques (ETM). La modélisation pourra aussi renseigner sur la spéciation de ces éléments dans la matrice. Une attention particulière sera portée à la modélisation du phosphore dont les ressources mondiales devraient décroître à partir de 2030.

Ce travail de modélisation géochimique développé avec le logiciel géochimique PhreeqC s'appuie sur l'expérience de travaux précédents sur des sédiments marins portuaires (Chatain et *al.*, 2013). Pour mieux appréhender la phase organique, l'utilisation conjointe et complémentaire du logiciel WHAM est envisagée (Marsac et *al.*, 2011). En amont, et afin d'incrémenter ces derniers avec le plus de pertinence et d'efficacité possible, tout un travail de caractérisation des phases d'intérêts a été réalisé.

- Chatain, V., Blanc, D., Borschneck, D., & Delolme, C. (2013). Determining the experimental leachability of copper, lead, and zinc in a harbor sediment and modeling. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), 66-74.
- Drapeau C., C. Delolme, V. Chatain, M. Gautier, D. Blanc, M. Benzaazoua, L. Lassabatère (2017) Spatial and temporal stability of major and trace element leaching in urban stormwater sediments. *Open Journal of Soil Science*. *Accepté*.
- Kim, B., Gautier, M., Michel, P., & Gourdon, R. (2013). Physical-chemical characterization of sludge and granular materials from a vertical flow constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 68(10), 2257-2263.
- Marsac, R., Davranche, M., Gruau, G., Bouhnik-Le Coz, M., & Dia, A. (2011). An improved description of the interactions between rare earth elements and humic acids by modeling: PHREEQC-Model VI coupling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(19), 5625-5637.

P-2. Observation et rétro-observation du milieu urbain par des approches paléoenvironnementales exploitant les polluants comme traceurs. Cas du réseau d'assainissement d'Orléans Métropole

Jacob, Jérémie¹; Simonneau, Anaëlle¹; Thibault, Alexandre¹; Thiebault, Thomas¹; Le Milbeau, Claude¹; Di Giovanni, Christian¹; Sabatier, Pierre²; Ardito, Luigi³; Fougère, Laetitia⁴; Destandau, Emilie⁴; Morio, Cédric⁵

- 1 *ISTO, UMR 7327 du CNRS, Université d'Orléans, BRGM, Orléans, France. Courriel : jeremy.jacob@cnsr-orleans.fr*
- 2 *EDYTEM, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, Le Bourget du Lac, France.*
- 3 *Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Orléans, France.*
- 4 *ICOA, UMR 7311 du CNRS, Université d'Orléans, Orléans, France.*
- 5 *Aggl'O, Direction du Cycle de l'Eau et des Réseaux d'Energie, La Chapelle Saint Mesmin, France.*

Pour déceler l'impact des forçages climatique et anthropique sur l'évolution des milieux continentaux, la sédimentologie et la géochimie sont classiquement appliquées à des archives géologiques prélevées en contexte "naturel", tels que les lacs. Contribuer aux débats sur ce qui définit/date le début de l'Anthropocène nécessite de transposer ces approches. Notre parti-pris a été d'étudier le socio-écosystème le plus emblématique de cette période : la ville. En considérant l'espace urbain comme tout bassin versant (une entité géographique parcourue de réseaux hydriques), et en choisissant une archive sédimentaire inédite s'accumulant dans un réceptacle d'origine anthropique, nos objectifs sont : (1) de comprendre les modalités et les temporalités de construction de cette archive; (2) d'y identifier les traceurs porteurs d'informations environnementales et anthropiques; (3) de retracer leur évolution temporelle (apparition, disparition, variation) et de la relier à l'évolution du métabolisme urbain, selon des échelles journalière à décennale, en couplant un suivi des flux entrants (temps court) avec l'archivage sédimentaire en résultant (temps long). A terme, ces recherches pourront aider à la définition des systèmes d'alerte et à l'évaluation des politiques publiques.

Le traçage sur 85 jours consécutifs des drogues et des médicaments permet de suivre les habitudes de consommation à l'échelle locale, et donc la dynamique journalière de relargage de ces contaminants dans le réseau d'eaux usées. Pour accéder aux dynamiques temporelles plus longues, nous avons prélevé des carottes sédimentaires dans la chambre à sable d'Orléans : un bassin de décantation construit en 1942, jamais curé avant le début de l'étude, et alimenté par les eaux usées et eaux pluviales de la partie nord de l'agglomération. Les carottes longues permettent d'approcher les dynamiques décennales tandis que des carottes courtes, réalisées entre deux opérations de curage, témoignent de dynamiques annuelles. Les sédiments sont constitués d'alternances entre niveaux minéraux fins et grossiers, et niveaux organiques. Les dates ¹⁴C et ⁷Be indiquent 2,5m de sédiments accumulés depuis 1980 pour les carottes longues, et 1,5m par an pour les carottes courtes. Les analyses sédimentologiques et géochimiques confrontées aux chroniques des précipitations montrent que la sédimentation est contrôlée par les apports respectifs en eaux usées et eaux pluviales au gré des variations de précipitations. Les teneurs en médicaments et drogues semblent, elles, davantage liées aux teneurs en phases porteuses (minérales et organiques) qu'à des variations dans leur production/consommation.

P-3. Oxydation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) et de leurs sous-produits par injection de ferrate de potassium dans la zone saturée

Johansson, Clotilde^{1,2,3}; Bataillard, Philippe²; Biache, Coralie¹; Colombano, Stefan²; Frayret, Jérôme⁴; Joubert, Antoine³; Lorgeoux, Catherine⁵; Pigot, Thierry⁴; Faure, Pierre¹

1 CNRS, Université de Lorraine, UMR7360 - LIEC, Vandœuvre-lès-Nancy, 54506, France

2 BRGM, 3 avenue Claude Guillemin - BP 36 009, Orléans Cedex 2, 45060, France

3 SERPOL, Parc d'activités, 2 chemin du Génie, BP 80, Vénissieux, 69633, France.

4 Université de Pau et des Pays de l'Adour, UMR5254, IPREM, 2 avenue Président Angot, Pau Cedex 09, 64053, France

5 Université de Lorraine, CNRS, CREGU, UMR7359 - GeoRessources, Vandœuvre-lès-Nancy, 54506, France

La dépollution d'anciennes friches industrielles représente un enjeu majeur pour de nombreuses raisons (environnementales, santé et sécurité, exploitation des terrains...). Les sols de cokeries en particulier, souvent implantées dans des lieux d'activités sidérurgiques, présentent des contaminations multiples dont une forte pollution aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) issue des déversements de goudrons de houille. Cet enjeu est un point clé du projet de recherche BIOXYVAL, qui rassemble de nombreux industriels et laboratoires académiques dans le but de coordonner une succession de techniques et procédés permettant la réhabilitation d'un site à pollution complexe. Le site atelier du projet est une ancienne cokerie. Au sein de ce projet, le travail présenté a pour objectif l'étude et l'amélioration de techniques d'oxydation chimique *in-situ* (ISCO) de phases organiques pures de DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquids) au sein d'une nappe polluée en vue de dégrader les Composés Aromatiques Polycycliques.

Le permanganate de potassium, le persulfate de sodium activé par chauffage (60°C) et un Fenton like avec activation par magnétite sont comparés à un produit innovant, de plus en plus étudié pour son efficacité en phase aqueuse : le ferrate de potassium. Cet oxydant est connu pour former des hydroxydes ferriques comme sous-produits de réaction, résidus non toxiques aux propriétés coagulantes (Ma and Liu, 2002; Peings et al., 2015; Ramseier et al., 2011; Sharma, 2013). Leurs rendements de dégradation sont d'abord observés en batchs, sur un sable de Fontainebleau dopé par le DNAPL pompé sur site. Cette première étape ne cible aucune optimisation du protocole, mais a pour objectif de comparer les efficacités de ces réactifs mis dans les mêmes conditions, dont leur concentration basée sur une Demande Stœchiométrique en Oxydant (DSO) similaire. Les échantillons sont analysés après 3h, 24h ou une semaine de réaction. La dégradation des 16 HAP réglementaires (US-EPA) est suivie, ainsi que la formation/élimination de certains Composés Aromatiques Polycycliques polaires (CAP), actuellement non réglementés, dont 9 oxygénés, 3 soufrés ou 4 azotés, connus pour être présents dans le goudron de houille, ou susceptibles d'être des sous-produits d'oxydation parfois considérés comme plus toxiques que les HAP parents (Biache, 2010; Lundstedt et al., 2003, 2007, 2014).

Suites aux premiers résultats sur sable, le protocole est validé, les blancs ne montrent aucun signe de (bio)dégradation sur les temps étudiés. Le Fenton like ne donne pas de résultats satisfaisants, contrairement aux autres oxydants, dont deux seront sélectionnés pour une série de batchs avec le sol prélevé sur site, dopé par le même DNAPL. La présentation proposée lors de ce séminaire détaillera les résultats de ces manipulations en batchs. Par la suite, des conditions dynamiques seront observées avec des essais en colonne de sol, menés pour optimiser le protocole avant d'adapter la technique à un pilote terrain.

Biache, C., 2010. Evolution des composants organiques d'un sol de cokerie en contexte d'atténuation naturelle. Henri Poincaré.

Lundstedt, S., Haglund, P., Oberg, L., 2003. Degradation and formation of polycyclic aromatic compounds during bioslurry treatment of an aged gasworks soil. ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY 22, Issue: 7, 1413-1420. doi: 10.1897/1551-5028(2003)22<1413:DAFOPA>2.0.CO;2

Lundstedt, S., White, P.A., Lemieux, C.L., Lynes, K.D., Lambert, L.B., Oberg, L., Haglund, P., Tysklind, M. Sources, fate, and toxic hazards of oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at PAH-contaminated sites. *AMBIO* 36, Issue 6, 475-485. doi: 10.1579/0044-7447(2007)36[475:SFATHO]2.0.CO;2

Lundstedt, S., Bandowe, B.A.M., Wilcke, W., Boll, E., Christensen, J.H., Vila, J., Grifoll, M., Faure, P., Biache, C., Lorgeoux, C., Larsson, M., Frech Irgum, K., Ivarsson, P., Ricci, M., 2014. First intercomparison study on the analysis of oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons (oxy-PAHs) and nitrogen heterocyclic polycyclic aromatic compounds (N-PACs) in contaminated soil. *TrAC - Trends Anal. Chem.* 57, 83–92. doi:10.1016/j.trac.2014.01.007

Ma, J., Liu, W., 2002. Effectiveness of ferrate (VI) preoxidation in enhancing the coagulation of surface waters. *Water Res.* 36, 4959–4962. doi:10.1016/S0043-1354(02)00224-5

Peings, V., Frayret, J., Pigot, T., 2015. Mechanism for the oxidation of phenol by sulfatoferrate(VI): Comparison with various oxidants. *J. Environ. Manage.* 157, 287–296. doi:10.1016/j.jenvman.2015.04.004

Ramseier, M.K., Peter, A., Traber, J., von Gunten, U., 2011. Formation of assimilable organic carbon during oxidation of natural waters with ozone, chlorine dioxide, chlorine, permanganate, and ferrate. *Water Res.* 45, 2002–2010. doi:10.1016/j.watres.2010.12.002

Sharma, V.K., 2013. Ferrate(VI) and ferrate(V) oxidation of organic compounds: Kinetics and mechanism. *Coord. Chem. Rev.* 257, 495–510. doi:10.1016/j.ccr.2012.04.014

P-4. La nature des interactions entre substances humiques et tensio-actifs cationiques révèle l'organisation moléculaire de la matière humique

Lartiges, Bruno¹; Chaaban, Abdul-Amir^{1,2}; Kazpard, Véronique²; Caillet, Céline³; Plisson-Chastang, Célia⁴; Vicendo, Patricia⁵

- 1 Université de Toulouse (Paul Sabatier), Géosciences Environnement Toulouse (UMR CNRS-UPS-IRD), 14 Av. E. Belin, 31400 Toulouse, France.
- 2 Lebanese University, Plateforme de Recherche et d'Analyses en Sciences de l'Environnement (PRASE-EDST), Campus Hadath, Lebanon.
- 3 University of Lorraine, LIEC (Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux), UMR CNRS 7360, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy, France.
- 4 Université de Toulouse (Paul Sabatier), Laboratoire de Biologie Moléculaire Eucaryote (UMR CNRS-UPS 5099), 31400 Toulouse, France.
- 5 Université de Toulouse (Paul Sabatier), Laboratoire des Interactions Moléculaires et Réactivité Chimique et Photochimique (IMRCP), UMR 5623, CNRS / UPS, 8 Route de Narbonne, 31400 Toulouse, France.

Si les caractérisations multiples et variées de la matière humique ont permis d'identifier les groupements fonctionnels présents, d'estimer sa taille, ou encore de décrire son comportement en suspension, la question de leur organisation moléculaire, structure polymérique ou assemblage supramoléculaire, reste matière à débat: la mesure d'une même masse moléculaire pour des substances humiques soumises à différentes conditions de fractionnement, semble identifier une structure polymérique capable d'adopter différentes conformations selon le pH de la suspension (Swift 1999). Cependant, l'étude de leurs propriétés tensio-actives et la forte augmentation de solubilité de composés hydrophobes en présence de concentrations croissantes de substances humiques, sont par contre attribuées à l'existence de micelles de matière humique (Carter and Suffet 1982; Wershaw 1999). Les expériences de chromatographie et de mesure du coefficient de diffusion moléculaire par RMN après ajout de petites quantités de différents acides organiques dans les suspensions de matière humique (Piccolo 1999, Simpson *et al.* 2002), renforcent quant à elles l'hypothèse d'une organisation supramoléculaire pour les substances humiques.

Pour essayer de trancher ce débat, nous avons récemment proposé d'étudier le comportement de la matière humique lors de son interaction avec des tensio-actifs cationiques de type chlorure d'alkyltriméthylammonium (Chaaban *et al.* 2016). L'association d'une structure polymérique avec des quantités croissantes de tensio-actif de charge opposée se traduit en effet par la formation d'un précipité suivie de sa redissolution en présence d'un excès de tensio-actif; les structures moléculaires formées sont dans ce cas multilamellaires planes ou vésiculaires de type oignon. En revanche, l'interaction d'un agrégat moléculaire de type micelle anionique avec un tensio-actif cationique donne lieu à un comportement plus riche avec la formation de micelles mixtes, de vésicules de charges différentes, des précipités et des phases lamellaires, qui sont successivement obtenus selon les concentrations relatives en tensio-actifs de charge opposée.

Dans le cas de l'acide fulvique extrait de la Suwannee river (SRFA) en présence de concentrations croissantes de chlorure de Dodecyltriméthylammonium (DTAC), nous avons ainsi pu montrer en couplant observations en microscopie cryogénique, et mesures de mobilité électrophorétique, que la séquence des structures moléculaires (vésicules riches en SRFA chargées négativement, globules, disques et agrégats, vésicules riches en DTAC chargées positivement, micelles mixtes), identifie le comportement d'un système catanionique. En d'autres termes, l'acide fulvique SRFA correspond à un assemblage supramoléculaire dont un composé majeur est un amphiphile anionique. Une conclusion équivalente, tout en suggérant une matière plus hétérogène, a pu être établie à pH 7 pour l'acide humique extrait de la Suwannee river (SRHA). Il est important de signaler

qu'un tensio-actif cationique avec une chaîne alkyle plus courte ne réarrange pas les substances humiques, et qu'une chaîne alkyle plus longue donne des précipités.

Qui dit assemblage supramoléculaire dit histoire d'un agrégat moléculaire avec une formation initiale à partir d'entités individuelles et une évolution potentielle dans le milieu avec des échanges entre assemblages. Ce travail ouvre donc des perspectives intéressantes pour la caractérisation de la partie colloïdale du cycle du carbone.

Carter and Suffet 1982 Binding of DDT to dissolved humic materials, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 11, pp. 735–740

Chaaban *et al.* 2016 Probing the organization of fulvic acid using a cationic surfactant, *Colloid Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 504, 252-259.

Piccolo 1999 The supramolecular structure of humic substances, *Soil Sci.*, vol. 166, no. 11, pp. 810–832.

Simpson *et al.* 2002 Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment, *Naturwissenschaften*, vol. 89, no. 2, pp. 84–88.

Swift 1999 Macromolecular properties of soil humic substances: fact, fiction, and opinion, *Soil Sci.*, vol. 164, no. 11, pp. 790–802.

Wershaw 1999 Molecular aggregation of humic substances, *Soil Sci.*, vol. 164, no. 11, pp. 803–813.

P-5. L'héritage métallique dans les zones de montagne

Le Roux, Gael¹; Claustres, A.¹; Binet, S.²; De Vleeschouwer, F.¹; Gandois, Laure¹; Hansson, S.V.³; Mazier, F.⁴; Simonneau, Anaëlle²; Teisserenc, Roman¹; Durantez, P.¹; Camboulives, T.¹; Tavella, M. J.¹; Rosset, T.¹; Allen, D.¹; Marquer, L.^{3,1}

& TRAM Team

- 1 *EcoLab, Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, ECOLAB, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France*
- 2 *ISTO, Institut des Sciences de la Terre, Université d'Orléans, UMR 7327 CNRS, BRGM, France*
- 3 *Aarhus University, Department of Bioscience – Arctic Research Centre, Fredriksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark*
- 4 *GEODE, Géographie de l'Environnement, CNRS, Université Jean-Jaurès Toulouse, France*

En raison de leurs caractéristiques géologiques, les environnements de montagne ont été exploités depuis le début de la métallurgie. Les Pyrénées ne font pas exception car de nombreux sites miniers de la région datent de l'âge du bronze. Ces activités ont ainsi induit une accumulation de métaux *millénaire*. La zone critique de montagne est sensible à la fois aux changements environnementaux induits par l'homme - par ex. l'agriculture, l'exploitation minière, les fluctuations environnementales rapides induites par la déforestation/reprise forestière et le climat. L'héritage des métaux traces stockés dans la zone critique de montagne est mal évalué : les Pyrénées fournissent un cadre parfait pour étudier de manière détaillée le devenir et l'impact des éléments traces potentiellement dangereux pour le fonctionnement écologique des bassins versants. Dans cette présentation, nous montrerons comment le projet TRAM est, à notre avis, un projet interdisciplinaire et intégrateur prometteur pour faire face aux différents défis suivants: a/TRAM évalue les changements dans l'introduction et le transfert de PHTe au cours des millénaires, en utilisant des traceurs géochimiques et isotopiques innovants, b/ TRAM combine une approche géochimique avec des analyses écologiques pour définir l'impact de PHTe sur la biodiversité et les services écosystémiques, c/ TRAM développe une série d'indicateurs pour rendre compte de l'impact des éléments trace sur la zone critique de la montagne auprès des décideurs et gestionnaires, en prenant également en compte la modélisation hydrologique, biogéochimique et les analyses SIG. Autour de cette présentation générale du projet TRAM financé principalement par l'ANR et l'OHM Haut-Videssos, nous illustrerons ici le rôle essentiel de la matière organique des sols, tourbières et sédiments dans le cycle des éléments trace métalliques dans la zone critique de montagne.

P-6. Modélisation géochimique du comportement à la lixiviation des boues de filtres plantés de roseaux – une première approche

Lupsea-Toader, Maria; Blanc, Denise; Gautier, Mathieu; Martinez, Luis; Gourdon, Rémy
Univ Lyon, INSA Lyon, Laboratoire DEEP (Déchets Eaux Environnement Pollutions), EA 7429, F-69621 Villeurbanne
*maria-octavia.lupsea@insa-lyon.fr

Parmi les procédés d'épuration des eaux usées domestiques, les filtres plantés de roseaux (FPR) se sont considérablement développés depuis la fin des années 1990, devenant même la principale filière de traitement pour les petites collectivités, avec plus de 3500 stations installées en France. Dans le cas des FPR à écoulement vertical, la présence de matières en suspension dans les effluents à traiter entraîne la rétention de dépôts organiques en surface sous forme d'une couche de boues dont l'évolution peut être apparentée à celle d'un anthroposol. Des polluants organiques et minéraux, i.e. éléments traces métalliques (ETM), apportés avec les eaux à traiter peuvent s'accumuler dans ces dépôts notamment par sorption sur la matière organique (MO).

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence le rôle de la MO dans la rétention et la mobilité des polluants métalliques des boues de FPR par modélisation géochimique. Le logiciel PhreeqC couplé avec la base de données LLNL a été utilisé pour simuler le comportement à la lixiviation des boues. La base de données a été enrichie avec des informations concernant l'assemblage minéralogique et la nature de la matière organique, obtenues par différentes techniques et méthodes de caractérisation, e.g. DRX, TG-ATD, essais de lixiviation suivis de spectrophotométrie UV, extraction séquentielle *etc.* L'assemblage minéralogique reconstitué comporte : (i) des phases majeures minérales (calcite, fluorapatite, gypse, berlinite, strengite, albite *etc.*), (ii) des phases minérales porteuses des ETM (zincite, ténorite) et (iii) de la matière organique. Celle-ci a été considérée ici comme étant constituée de substances humiques et fulviques et de composés solubles. La MO a été prise en compte dans des réactions de complexation/sorption avec les ETM, tels que Cu, Cr, Zn, Cd, Ni. La simulation confirme les hypothèses faites sur le rôle de la MO dans la rétention des ETM. Une compétition entre la sorption des ETM sur solide et leur complexation sur la MO dissoute dans la solution de lixiviation a été mise en évidence.

Le modèle développé pourrait être affiné par une meilleure identification des phases porteuses des ETM, qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Ceci est possible par microscopie électronique à balayage en mode environnemental (MEBe). D'autres améliorations pourraient être apportées par un modèle couplé chimie-transport qui permettrait de simuler le comportement des boues à la lixiviation dans des conditions d'exposition naturelle, avec l'objectif final d'aller vers la récupération des métaux et la valorisation de ses boues.

P-7. Caractérisation intégrée de la matière organique dissoute d'eaux résiduaires

Masson, Mathieu¹; Parlanti, Edith^{2,3}; Miège, Cécile¹; Arhror, M.¹; Brosse-Quilgars, C.¹; Richard, L.¹

1 *Irstea, UR MALY, Centre de Lyon-Villeurbanne, 5 rue de la Doua, CS 20244, F-69625, Villeurbanne Cedex, France.*

2 *Université de Bordeaux, UMR 5805, EPOC, LPTC, 33400 Talence, France*

3 *CNRS, UMR 5805, EPOC, LPTC, 33400 Talence, France*

La MO des milieux aquatiques soumis à des pressions urbaines importantes possède des propriétés physico-chimiques différentes de la MO des eaux de surface pas ou peu impactées par les rejets anthropiques : plus faible proportion d'acides fulviques et humiques, molécules de tailles plus petites, plus faible aromaticité, enrichissement en azote (Imai et al., 2002 ; Pernet-Coudrier et al., 2011). De même, les caractéristiques de la MO d'origine anthropique peuvent varier en fonction de l'origine des eaux (e.g. domestique, industrielle, pluviale, ruissellement) et du type de traitement appliqué ou non (Michael-Kortadou et al., 2015). Les différences de nature entre MO naturelle et anthropique sont aussi observées au travers de leurs interactions avec certains métaux qui sont plus complexés par la MO d'origine anthropique (e.g. Louis et al., 2014 ; Matar et al., 2015). Cependant, les connaissances sur la nature et les propriétés physico-chimiques de la MO d'origine anthropique, ainsi que sa réactivité et son devenir sont limitées. En effet :

- de nombreuses études sur la MO d'origine anthropique traitent des rendements épuratoires à partir d'analyses globales (type DCO ou DBO) qui sont limitées pour décrire la nature de la MO ;
- la MO est souvent représentée par les substances humiques qui représentent en moyenne 40 à 60% de la MO naturelle mais qui sont peu représentatives de la MO anthropique (Pernet-Coudrier et al., 2008) ;
- la MO est souvent analysée après des étapes d'extraction et de purification qui permettent de séparer la MO selon certaines propriétés mais qui sont longues à mettre en œuvre et ne permettent pas l'analyse d'échantillons en grande quantité.

Nous proposons d'initier une étude sur l'établissement de relations entre les différentes sources de MO anthropique et sa nature ou ses propriétés physico-chimiques. Le potentiel de la combinaison de différentes techniques analytiques complémentaires est étudié au travers du développement d'une stratégie de caractérisation intégrée de la MO basée sur la combinaison de descripteurs pertinents. Pour cela, des eaux usées brutes et traitées (n=26) ont été collectées en amont et aval de différentes stations de traitement d'eaux usées et de traitements tertiaires (traitements par boues activées, filtres plantés de roseaux, biofiltres, zones de rejets végétalisées...). La MO dissoute de ces échantillons a été caractérisée par des techniques permettant des analyses sans prétraitements de l'échantillon : spectrophotométrie UV-visible, fluorescence 3D, chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution, chromatographie d'exclusion stérique couplée à détection UV. La variabilité de la composition/nature de la MO anthropique et de ses propriétés physico-chimiques est mise en évidence. Ce travail préliminaire permettra de commencer la constitution d'une base de données inédite à partir d'un jeu d'échantillons couvrant une très large gamme de types de rejets urbains.

Imai, A., Fukushima, T., Matsushige, K., Kim, Y.-H., Choi, K. 2002. Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants. *Water Res* 36:859-870.

- Louis, Y., Pernet-Coudrier, B., Varrault, G. 2014. Implications of effluent organic matter and its hydrophilic fraction on zinc(II) complexation in rivers under strong urban pressure: Aromaticity as an inaccurate indicator of DOM-metal binding. *Sci Total Environ* 490:830-837.
- Matar, Z., Soares Pereira, C., Chebbo, G., Uher, E., Troupel, M., Boudahmane, L., Saad, M., Gourlay-France, C., Rocher, V. 2015. Influence of effluent organic matter on copper speciation and bioavailability in rivers under strong urban pressure. *Environ Sci Pollut R* 22:19461-19472.
- Michael-Kordatou, I., Michael, C., Duan, X., He, X., Dionysiou, D.D., Mills, M.A., Fatta-Kassinos, D. 2015. Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research* 77:213-248.
- Pernet-Coudrier, B., Clouzot, L., Varrault, G., Tusseau-Vuillemin, M.-H., Verger, A., Mouchel, J.-M. 2008. Dissolved organic matter from treated effluent of a major wastewater treatment plant: Characterization and influence on copper toxicity. *Chemosphere* 73:593-599.
- Pernet-Coudrier, B., Varrault, G., Saad, M., Croue, J.P., Dignac, M.-F., Mouchel, J.-M. 2011. Characterisation of dissolved organic matter in Parisian urban aquatic systems: predominance of hydrophilic and proteinaceous structures. *Biogeochem* 106:89-106.

P-8. Evolution de la disponibilité des métaux au cours de la minéralisation des résidus de culture dans un sol agricole

Moreau, Clotilde¹; Vivien, Emma¹; Crouzet, Olivier²; Cheviron, Nathalie²; Denaix, Laurence¹

1 UMR 1391 ISPA, INRA, Centre Bordeaux Aquitaine 33883 Villenave d'Ornon Cedex

2 UMR ECOSYS, INRA, Centre Versailles Grignon, Route de Saint Cyr, 78000 Versailles

Les sols agricoles sont soumis à des pollutions diffuses du fait de l'usage d'engrais et de produits phytosanitaires. Les métaux s'y accumulent et pourraient poser à terme des problèmes de contamination des récoltes ou de préservation de la ressource sol. La disponibilité de ces métaux est modulée par le pH et la matière organique qui les complexe. Après enfouissement des résidus de culture (pailles, engrais verts, etc.), ceux-ci vont se décomposer en libérant les métaux qu'ils contiennent et produire des molécules organiques pouvant complexer les métaux. Ainsi, la minéralisation rapide de ces résidus pourrait conduire à une augmentation ou diminution de la concentration en métaux disponible pour les organismes vivants. Une étude sur la minéralisation de feuilles d'*Arabidopsis halleri*, plante hyperaccumulatrice, avait déjà montré une libération importante et très rapide de cadmium et zinc dans la solution de sol (Boucher et al., 2004)

Nous avons donc étudié l'influence de la minéralisation des résidus de culture sur la disponibilité des métaux. Pour cela, nous avons incubé un sol agricole, cultivé depuis plus de 10 ans en agriculture biologique, en présence de résidus de culture différents (tiges de tournesol, cannes de maïs, parties aériennes de moutarde et paille de blé) pendant deux mois. Nous avons suivi l'activité microbienne (respiration du sol, activité de la β -glucosidase), la chimie de la solution du sol (pH, concentration en carbone soluble, sulfate, nitrates, cadmium, cuivre, plomb et zinc) et la disponibilité des cations métalliques par l'utilisation d'un capteur passif (DGT).

Après 2 mois, 18% du carbone de la moutarde et 40% du carbone des autres résidus ont été minéralisés. L'activité de la β -glucosidase varie selon les résidus : elle augmente rapidement pour le maïs, le blé et le tournesol et seulement après un mois pour la moutarde. Les résultats montrent une modification importante du pH du sol et de la solution du sol, variable selon les résidus. Le carbone organique dissous augmente rapidement pour tous les résidus dès le premier jour d'incubation et revient à la valeur du sol témoin après 2 mois. Pour tous les métaux, un pic de concentration en solution est observé après la première journée d'incubation. Ensuite, le comportement des métaux est variable, selon le résidu et le métal. La concentration en zinc reste élevée pendant deux mois alors que la concentration en cuivre revient au niveau de la valeur du témoin après un jour. Ces différences sont vraisemblablement liées aux différences d'affinité des métaux vis-à-vis de la matière organique. Cette étude préliminaire a permis de démontrer que l'incorporation de résidus de culture dans un sol agricole modifiait rapidement les équilibres géochimiques et influait sur la disponibilité des métaux présents dans les sols. En particulier, nous avons démontré l'effet important de l'enfouissement de résidus de moutarde, végétal largement utilisé comme engrais vert. Cette première étude est à valider dans d'autres sols et en conditions de terrain afin de vérifier cette modulation de la disponibilité des métaux en fonction de la dégradation des matières organiques incorporées aux sols.

Boucher, U., Balabane M., Lamy I., Cambier P., Decomposition in soil microcosms of leaves of the metallophyte *Arabidopsis halleri*: effect of leaf-associated heavy metals on biodegradation, *Environmental Pollution*, 135 (2), 187-194.

P-9. Spectroscopie laser résolue en temps et quenching de fluorescence de la matière organique en interaction avec l'Europium

Nouhi, Ayoub¹; Hajjoul, Houssam¹; Redon, Roland¹; Gagné, Jean-Pierre²; Mounier, Stéphane¹

1 Laboratoire PROTEE, Université de Toulon, BP 20132, 83957 La Garde Cedex, FRANCE

2 Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec, CANADA

L'étude des interactions entre la matière organique et les éléments traces métalliques est d'une importance majeure pour comprendre leur transport et leur toxicité dans l'environnement. L'euporium est un très bon analogue des actinides trivalents car il a l'avantage de ne subir aucune décroissance radioactive ce qui facilite sa manipulation et son utilisation comme sonde fluorescente. L'objectif de ce travail a été de caractériser son interaction avec des acides humiques et des acides fulviques extraits de l'Estuaire du Saint Laurent du Canada.

La caractérisation a été effectuée par spectroscopie de fluorescence en mode stationnaire et résolue en temps. Les mesures de fluorescence en mode stationnaire ont permis d'obtenir les matrices d'excitation et d'émission de fluorescence (MEEFs). Une décomposition multi-linéaire de type CP/PARAFAC [1] a ensuite été appliquée sur ces MEEFs pour déterminer les différents composants fluorescents. Une modélisation 1:1 a été effectuée sur chaque contribution en fluorescence identifiée après décomposition et a permis de déterminer les paramètres d'équilibre notamment la constante de complexation. Le principal critère de comparaison entre les différents composants a été effectué en se basant sur la position du maximum de fluorescence localisé par rapport aux pics décrits par Coble (1996) [2]. Les mesures de fluorescence par spectroscopie laser résolue en temps ont permis d'obtenir les temps de vie et les amplitudes relatives de chaque composant. Pour se faire, un algorithme de déconvolution temporelle a été appliqué à chaque décroissance de fluorescence. Le point crucial de la déconvolution temporelle a été l'évaluation du meilleur ajustement entre les différents modèles physiques et les décroissances mesurées. À partir du modèle le plus adapté et en analysant les graphiques de Stern-Volmer, il a été possible de déterminer le type de quenching qui s'opère : dynamique ou statique [3].

Cette étude a été effectuée suivant deux méthodes distinctes : Premièrement, des mesures de calibration en utilisant l'acide salicylique et le cuivre comme molécules modèles ont été effectuées. Les résultats obtenus montrent une bonne corrélation avec les valeurs rapportées dans la littérature. Notre protocole expérimental a ensuite été appliqué pour étudier l'interaction entre l'acide salicylique et la matière organique avec l'euporium séparément. Les résultats montrent que dans le cas de l'acide salicylique, un quenching statique et dynamique s'opère tandis que l'interaction avec la matière organique a révélé uniquement un quenching statique et par conséquent la formation d'un complexe moléculaire à l'état fondamental. Malgré les nombreuses études sur l'interaction MO-Europium [4-6], aucune étude n'a rapporté le type de quenching qui se produit en étudiant les temps de vie de fluorescence. C'est pourquoi cette étude est primordiale pour comprendre d'un point de vue mécanistique le type d'interaction qu'ils ont afin de transposer leur comportement dans l'environnement.

[1] Bro, R. (1997). PARAFAC. Tutorial and applications. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 38(2), 149-171.

[2] Lakowicz, J. R. (2006). Principles of fluorescence spectroscopy, 3rd edition. Springer US.

[3] Coble, P. G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine chemistry*, 51(4), 325-346.

[4] Wei, J., Han, L., Song, J., & Chen, M. (2015). Evaluation of the interactions between water extractable soil organic matter and metal cations (Cu (II), Eu (III)) using Excitation-Emission Matrix combined with Parallel Factor Analysis. *International journal of molecular sciences*, 16(7), 14464-14476.

- [5] Chung, K. H., Lee, W., Cho, Y. H., Choi, G. S., & Lee, C. W. (2005). Comparison of synchronous and laser-induced fluorescence spectroscopy applied to the Eu (III)-fulvate complexation. *Talanta*, *65*(2), 389-395.
- [6] Reiller, P. E., & Brevet, J. (2010). Bi-exponential decay of Eu (III) complexed by Suwannee River humic substances: spectroscopic evidence of two different excited species. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *75*(2), 629-636.

P-10. Co-adsorption de composés pharmaceutiques sur la goethite

Xu, Jing^{1,2}; Marsac, Rémi^{1,3}; Costa, Dominique⁴; Wu, Feng⁵; Boily, Jean-François⁶; Hanna, Khalil¹

- 1 *Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, CNRS, UMR 6226, 11 Allée de Beaulieu, CS 50837, 35708 Rennes Cedex 7, France.*
- 2 *State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China*
- 3 *Géosciences Rennes UMR 6118, Université Rennes 1, CNRS, 35042, Rennes Cedex, France.*
- 4 *Institut de Recherches de Chimie de Paris UMR 8247 ENSCP Chimie Paristech, 11 rue P. Et M. Curie, 75005 Paris, France.*
- 5 *Hubei Key Lab of Biomass Resource Chemistry and Environmental Biotechnology, School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan, 430079, P. R. China*
- 6 *Department of Chemistry, Umeå University, Umeå, SE-901 87, Sweden*

De nombreux contaminants organiques sont retrouvés dans les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols et les sédiments, tels que des composés pharmaceutiques, des pesticides et d'autres composés organiques d'origine anthropiques.^{1,2} Ces substances appelées «contaminants émergents» sont très préoccupantes en raison de la menace qu'elles représentent pour la vie aquatique et la santé humaine. Bien que l'élimination des contaminants émergents à partir de matrices contaminées ait été largement étudiée au cours des 20 dernières années, les processus physico-chimiques susceptibles de contrôler le comportement de ces composés (notamment le transport et leur transformation) dans les milieux aquatiques sont moins bien connus. Notamment, les interactions entre ces contaminants et des surfaces minérales naturelles peuvent affecter leur comportement dans l'environnement. Il est donc nécessaire de développer des modèles prédictifs de ce comportement.³⁻⁵

La contamination des sols et des milieux aquatiques par les produits pharmaceutiques peut être multiple.^{1,2} Pourtant, peu d'études ont porté sur les effets de compétition et/ou de coopération entre les contaminants organiques émergents à la surface des minéraux sur leur devenir dans l'environnement.⁶ Ainsi, la (co)adsorption de l'acide nalidixique (NA), un antibiotique de type quinolone, et de l'acide niflumique (NFA), un anti-inflammatoire non-stéroïdien, sur la goethite (α -FeOOH) a été étudiée. Des expériences d'adsorption (en batch) montrent un phénomène inattendu d'adsorption coopérative entre ces deux molécules. Des études par spectroscopie vibrationnelle et des calculs de chimie quantique (DFT, pour « Density Functional Theory ») révèlent la formation d'un complexe NFA-NA favorisé à la surface de la goethite (-0.5 eV par rapport au complexe en solution), principalement formé via des liaisons de van der Waals.⁷ Un modèle mécanistique de complexation de surface (de type MUSIC : « Multi Site Complexation model »)⁸ intégrant les informations précédemment obtenues à l'échelle moléculaire a été développé. En prenant en compte la formation de complexes de surface NA-NFA, il est possible de prédire l'adsorption coopérative des deux composés dans une large gamme de conditions physico-chimiques : ($4 < \text{pH} < 11$; $3 < [\text{NaCl}] < 100 \text{ mM}$; $0.2 < [\text{NA}]$ et/ou $[\text{NFA}] < 100 \text{ }\mu\text{M}$).⁹ De plus, des résultats préliminaires montrent que : (1) l'adsorption coopérative entre NA et NFA est non seulement observée sur la goethite, mais aussi pour différents oxydes de Fe (hématite, magnétite), hydroxyde d'Al (gibbsite), des argiles (kaolinite, montmorillonite) ou des oxydes de Ti ou de Mn. (2) Ce phénomène de coopération sur la goethite est également observé en présence d'acides humiques, même si de fortes teneurs en HA diminuent l'adsorption de NA et de NFA. (3) Le transport en colonne de ces deux molécules est largement affecté par leur présence simultanée.

Cette étude démontre que des contaminants organiques émergents ne sont pas nécessairement en compétition pour les sites de surface des minéraux mais que des effets coopératifs prononcés peuvent être observés. Ces découvertes ont donc de fortes implications dans l'évaluation et la prédiction du devenir des contaminants dans les milieux naturels, où de multiples contaminants sont présents.

- (1) Kolpin, D. W.; Furlong, E. T.; Meyer, M. T.; Thurman, E. M.; Zaugg, S. D.; Barber, L. B.; Buxton, H. T. Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999–2000: A National Reconnaissance. *Environ. Sci. Technol.* **2002**, *36* (6), 1202–1211.
- (2) Lapworth, D. J.; Baran, N.; Stuart, M. E.; Ward, R. S. Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environ. Pollut.* **2012**, *163*, 287–303.
- (3) Rusch, B.; Hanna, K.; Humbert, B. Sorption and Transport of Salicylate in a Porous Heterogeneous Medium of Silica Quartz and Goethite. *Environ. Sci. Technol.* **2010**, *44* (7), 2447–2453.
- (4) Paul, T.; Liu, J.; Machesky, M. L.; Strathmann, T. J. Adsorption of zwitterionic fluoroquinolone antibacterials to goethite: A charge distribution-multisite complexation model. *J. Colloid Interface Sci.* **2014**, *428*, 63–72.
- (5) Martin, S.; Shchukarev, A.; Hanna, K.; Boily, J.-F. Kinetics and Mechanisms of Ciprofloxacin Oxidation on Hematite Surfaces. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, *49* (20), 12197–12205.
- (6) Conkle, J. L.; Latta, C.; White, J. R.; Cook, R. L. Competitive sorption and desorption behavior for three fluoroquinolone antibiotics in a wastewater treatment wetland soil. *Chemosphere* **2010**, *80* (11), 1353–1359.
- (7) Xu, J.; Marsac, R.; Costa, D.; Cheng, W.; Wu, F.; Boily, J.-F.; Hanna, K. Co-Binding of Pharmaceutical Compounds at Mineral Surfaces: Molecular Investigations of Dimer Formation at Goethite/Water Interfaces. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51* (15), 8343–8349.
- (8) Hiemstra, T.; Venema, P.; Riemsdijk, W. H. V. Intrinsic Proton Affinity of Reactive Surface Groups of Metal (Hydr)oxides: The Bond Valence Principle. *J. Colloid Interface Sci.* **1996**, *184* (2), 680–692.
- (9) Xu, J.; Marsac, R.; Wei, C.; Wu, F.; Boily, J.-F.; Hanna, K. Co-binding of Pharmaceutical Compounds at Mineral Surfaces: Mechanistic Modeling of Binding and Cobinding of Nalidixic Acid and Niflumic Acid at Goethite Surfaces. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51* (20), 11617–11624.

MO et fossiles archéologiques

**La MO comme fossile archéologique et paléontologique –
Interaction Homme-milieu ; paléoenvironnements ; processus de formation
des signatures chimiques**

ORAUX

MO et fossiles archéologiques

Conférence introductive Thème MO et fossiles archéologiques

La MO comme fossile archéologique – Interpréter les signatures chimiques pour comprendre l'homme et l'environnement

Lucquin, Alexandre

BioArCh, Department of Archaeology, University of York

C'est dans le milieu des années 30 que les premières analyses chimiques de matériaux organiques d'origine archéologique ont été réalisées. Si pendant longtemps, le recours aux analyses chimiques a eu pour principal but de caractériser la nature de résidus organiques amorphes, aujourd'hui elles représentent une importante contribution à la compréhension des pratiques et activités passées et plus globalement aux questionnements archéologiques. On peut considérer que l'analyse des résidus organiques archéologiques, notamment contenu dans les poteries, est entrée dans une phase de maturité avec des méthodes mieux établies, des analyses plus fréquentes et une meilleure intégration aux questionnements anthropologiques. De plus, c'est un domaine de recherche en pleine expansion avec un nombre de publications et de groupes de recherche en augmentation.

L'analyse des résidus organiques a été appliquée à une très large gamme de matériaux archéologiques (*e.g.* poterie, sédiments, outils en pierre, restes humains coprolithes) en ayant recours à un large éventail de procédures analytiques qui ont été appliquées à la caractérisation des biomolécules anciennes. Si la protéomique est parfois utilisée dans la détermination des matériaux organiques, les lipides sont généralement préférés de par leur nature beaucoup plus stable. Le recours à la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) et la chromatographie en phase gazeuse combinée à la spectrométrie de masse de rapport isotopique (GC-c-IRMS) sont les techniques analytiques les plus courantes.

Nous traiterons des stratégies pour identifier et interpréter les résidus organiques sur la base combinée de l'identification de biomarqueurs, de signatures lipidiques et des valeurs isotopiques des composés moins diagnostiques, tels que les acides n-alcanoïques. Nous évoquerons les avancées récentes faites sur la résolution des signatures chimiques issues de mélange de différentes ressources.

Enfin non limité à des questions d'ordre taxonomique, nous verrons comment la matière organique aide à révéler la nature des activités et pratiques humaines ainsi que l'interaction entre l'homme et l'environnement.

Création d'une base de données d'empreintes stanol pour identifier la présence de mammifères en contexte archéologique

Harrault, Loïc¹; Milek, Karen¹; Jardé, Emilie²; Jeanneau, Laurent²; Anderson, David³

1 *Department of Archaeology, University of Durham, Dawson Building, DH1 3LE Durham, GB*

2 *Géosciences Rennes, Campus Beaulieu, Université Rennes 1, 3500 Rennes, France*

3 *Department of Anthropology, University of Aberdeen, Edward Wright building, AB24 4QY, Aberdeen, GB*

En archéologie, il est crucial de pouvoir identifier les différents animaux présents sur site afin de mieux cerner les interactions passées entre hommes, animaux et environnement et de comprendre comment les hommes se sont adaptés à leur milieu dans diverses situations. Selon les contextes et les études (nomadisme, conditions de préservations, pillage etc.), il n'est pas rare de manquer d'évidences macroscopiques sur des sites archéologiques (os, poteries ou autre artefacts). Cependant, les évidences microscopiques et moléculaires peuvent, elles, être préservées. Parmi les évidences moléculaires, les biomarqueurs fécaux, stanols et acides biliaires, ont régulièrement été utilisés pour identifier la présence de résidus fécaux provenant de différents animaux issus des grands groupes alimentaires (omnivores, herbivores, carnivores ; Bethell et al., 1994, Bull et al., 2002, Devane et al., 2015). Cependant, l'identification d'espèces issues d'un même groupe alimentaire est délicate car la distribution de ces biomarqueurs fécaux dans leurs fèces peut être similaire et rendre ainsi leurs empreintes fécales indistinctes, particulièrement lorsque seuls les stanols fécaux sont pris en compte (Leeming et al., 1996). Malgré cela, stanols et acides biliaires ont récemment été utilisés en combinaison pour identifier différentes espèces d'herbivores sur des sites archéologiques (Prost et al., 2017, Zoccatelli et al., 2017).

Toutefois, l'identification des empreintes fécales relatives aux différentes espèces est souvent faite en comparant les distributions des marqueurs fécaux dans des échantillons de référence ou en utilisant des ratios « diagnostiques » basés sur les biomarqueurs les plus abondants (Derrien et al., 2017, Prost et al., 2017). Or, ces ratios peuvent induire en erreur sur l'attribution d'une empreinte stanol particulière, quand l'utilisation de statistiques multidimensionnelles peut améliorer cette distinction (Derrien et al., 2011, Jardé et al., 2018). De plus, l'analyse des acides biliaires reste délicate en comparaison à celle des stanols.

Dans cette étude, la distribution des stanols fécaux de 90 échantillons références a été analysée afin de créer une base de données regroupant diverses espèces pouvant être rencontrées sur des sites archéologiques (humains, porcs, vaches, chevaux, chèvres, moutons, chiens, rennes...). A partir de ces distributions, des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées afin de faire la distinction entre différentes empreintes stanols, même au sein d'un même groupe alimentaire tel les herbivores.

L'une de ces ACPs, utilisée comme model prédictif, a été utilisée pour déterminer l'empreinte stanol de sols issus d'un site archéologique (8^{ème}-10^{ème} siècles) de la péninsule du lamal (Sibérie), où la domestication de rennes est un nexus dans le quotidien de peuples nomades présents ainsi que pour leurs ancêtres.

Dans cette étude, nous montrons que l'analyse des stanols fécaux associée à des traitements statistiques appropriés, permet de faire la distinction entre l'empreinte stanol d'animaux à l'échelle de l'espèce et d'identifier la présence passée d'animaux sur des sites archéologiques.

L'application de cette base de données d'empreintes fécales à d'autres contextes, passés ou présents, pourraient améliorer la compréhension des interactions entre humains, animaux et environnement.

- Bethell, P. H., Goad, L. J., Evershed, R. P., & Ottaway, J. (1994). The Study of Molecular Markers of Human Activity: The Use of Coprostanol in the Soil as an Indicator of Human Faecal Material. *Journal of Archaeological Science*, 21(5), 619–632. <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1061>
- Bull, I. D., Lockheart, M. J., Elhmmali, M. M., Roberts, D. J., & Evershed, R. P. (2002). The origin of faeces by means of biomarker detection. *Environment International*, 27(8), 647–654. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00124-6)
- Derrien, M., Jarde, E., Gruau, G., & Pierson-Wickmann, A.-C. (2011). Extreme variability of steroid profiles in cow feces and pig slurries at the regional scale: implications for the use of steroids to specify fecal pollution sources in waters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7294–302. <https://doi.org/10.1021/jf201040v>
- Derrien, M., Yang, L., & Hur, J. (2017). Lipid biomarkers and spectroscopic indices for identifying organic matter sources in aquatic environments: A review. *Water Research*, 112, 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.023>
- Devane, M. L., Wood, D., Chappell, A., Robson, B., Webster-Brown, J., & Gilpin, B. J. (2015). Identifying avian sources of faecal contamination using sterol analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(10), 625. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4800-3>
- Jardé, E., Jeanneau, L., Harrault, L., Quenot, E., Solecki, O., Petitjean, P., Gourmelon, M. (2018). Application of a microbial source tracking based on bacterial and chemical markers in headwater and coastal catchments. *Science of The Total Environment*, 610–611, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.235>
- Leeming, R., Ball, A., Ashbolt, N., & Nichols, P. (1996). Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters. *Water Research*, 30(12), 2893–2900. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00011-5)
- Prost, K., Birk, J. J., Lehndorff, E., Gerlach, R., & Amelung, W. (2017). Steroid biomarkers revisited – Improved source identification of faecal remains in archaeological soil material. *PLOS ONE*, 12(1), e0164882. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164882>
- Zocatelli, R., Lavrieux, M., Guillemot, T., Chassiot, L., Le Milbeau, C., & Jacob, J. (2017). Fecal biomarker imprints as indicators of past human land uses: Source distinction and preservation potential in archaeological and natural archives. *Journal of Archaeological Science*, 81, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.03.010>

$\delta^{18}\text{O}$ de stérols et triterpénols par GC-irMS : Est-ce bien raisonnable ?

Jacob, Jérémy¹; Bariac, Thierry²; Fléhoc, Christine³; Blessing, Michaela³; Zech, Michael⁴;
Fougère, Laetitia⁵; Le Milbeau, Claude ¹; Landais, Amaëlle⁶; Destandau, Emilie⁵

1 ISTO, UMR 7327 du CNRS/INSU, Université d'Orléans, BRGM, Orléans, France

2 IEES Paris, UMR 7618 UPMC-CNRS-INRA-IRD-Paris 7-UPEC, Paris, France

3 Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Orléans, France

4 Institute of Geography, Technical University of Dresden, Germany

5 ICOA, UMR 7311 du CNRS, Université d'Orléans, Orléans, France

6 LSCE, Université de Versailles Saint-Quentin, CEA-CNRS, Gif-sur-Yvette, France

$\delta^{13}\text{C}$ c'est bon. $\delta^2\text{H}$ c'est bon. $\delta^{15}\text{N}$ et c'est bon. $\delta^{33}\text{S}$ et $\delta^{34}\text{S}$ c'est bon*. Quid du $\delta^{18}\text{O}$ de molécules organiques par GC-irMS ? Depuis plusieurs années, des travaux rapportent l'intérêt du $\delta^{18}\text{O}$ de sucres individuels extraits d'archives géologiques pour reconstruire des évolutions paléoclimatiques, en considérant que l'O de ces molécules provient de l'eau absorbé par l'organisme producteur. De notre côté, nous avons démontré expérimentalement que l'O des stérols et triterpénols végétaux provient de l' O_2 atmosphérique ($\text{O}_{2\text{atm}}$) respiré par la plante, ce que les biochimistes supposaient depuis les années 2000. Nous avons cultivé du millet (*Panicum miliaceum*) en conditions contrôlées et démontré isotopiquement que l'O de la miliacine ne provenait ni de l' H_2O , ni du CO_2 mais de l' $\text{O}_{2\text{atm}}$.

S'ouvre ainsi la perspective de pouvoir retracer l'évolution du $\delta^{18}\text{O}$ de l' $\text{O}_{2\text{atm}}$ sur des échelles de temps géologiques au moyen du $\delta^{18}\text{O}$ de stérols et triterpénols préservés dans les roches et sédiments, et d'identifier des changements de l'effet Dole lors des grandes crises climatiques qui ont ponctué le Cénozoïque... A condition de pouvoir déterminer le $\delta^{18}\text{O}$ de ces stérols et triterpénols... Le premier challenge consiste à obtenir des résultats reproductibles sur des composés à O/C faible. De nombreux facteurs conditionnent la résolution des pics : quantité de composés, dimensions de la colonne, temps de résidence dans le réacteur, débits, auxquels s'ajoute la faible tenue des réacteurs d'oxydation. Nos premiers résultats acquis sur de la vanilline sont assez prometteurs mais deviennent décourageants sur l'acide cholique et la miliacine.

En l'absence de standard isotopique $\delta^{18}\text{O}$ de lipides, nous avons engagé un travail de calibration de standards en croisant les données EA-irMS et GC-irMS. Si la partie EA-irMS donne des résultats probants, les limitations actuelles de la GC-irMS freinent tout développement.

Afin de déterminer le facteur de fractionnement isotopique entre l'O de nos molécules et l' $\text{O}_{2\text{atm}}$, nous avons entrepris la culture de haricots en milieu contrôlé avec un $\delta^{18}\text{O}$ de l' O_2 déterminé, en commençant par des cultures avec de l' $\text{O}_{2\text{atm}}$. La suite des opérations de calibration est limitée par la disponibilité (à prix raisonnable) de bouteilles industrielles d' O_2 dont le $\delta^{18}\text{O}$ est connu.

En parallèle de ces opérations couronnées de succès (!), nous avons isolé en quantités satisfaisantes des stérols et triterpénols de sédiments lacustres et de lignites provenant de séries sédimentaires couvrant deux crises climatiques majeures du Cénozoïque : l'optimum thermique de la limite Paléocène-Eocène (PETM) et le refroidissement de la limite Eocène/Oligocène.

* Ce n'est pas si bon, mais là n'est pas le sujet.

Signature organique des foyers archéologiques - Application au site

Aurignacien de Régismont-le-Haut

Lejay, Mathieu¹; Alexis, Marie A.²; Sellami, Farid³; Quénéa, Katell²; Anquetil, Christelle²; Bon, François¹

1 Laboratoire TRACES, UMR 5608, Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse. mathieu.lejay@univ-tlse2.fr

2 Laboratoire METIS, UMR 7619, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

3 Laboratoire TRACES, UMR 5608, INRAP GSO, Campagne.

L'usage du feu par les populations préhistoriques est une question centrale dans l'étude des sites archéologiques datant de la fin du Pléistocène. Les vestiges qui s'y rapportent, notamment les foyers, constituent de véritables pôles autour desquels les habitats et les activités s'organisent. Malgré de nombreux travaux sur l'importance des foyers dans l'organisation spatiale et économique, la question de leur fonctionnement et de leur usage reste cependant généralement en suspens. Le site de Régismont-le-Haut, comptant une trentaine de foyers datés d'il y a ca. 38/32 ka cal.BP¹, représente une opportunité exceptionnelle de les étudier et de les caractériser. Si la géochimie organique constitue un outil puissant et précis pour la caractérisation des MO, son application à des résidus préhistoriques, ayant subi à la fois une altération thermique initiale et une dégradation postdépositionnelle, s'avère complexe^{2,3}. Deux approches complémentaires ont été appliquées dans le cadre de ce travail : 1) un référentiel de foyers expérimentaux a été établi sur le site, afin de contraindre au maximum les signatures organiques produites par l'*entreposage d'os* (non brûlé), et par des foyers alimentés respectivement en *bois*, en *os et bois*, en *os seul*⁴, ou ayant servi à cuire de la *viande* ; 2) l'étude de trois des foyers archéologiques, aux propriétés contrastées, a été confrontée à ces résultats expérimentaux. Une étape préliminaire de description micromorphologique des foyers a permis l'identification de différents faciès. Pour chacun d'entre eux, la composition élémentaire (C, N) a été mesurée, la fraction lipidique extraite et analysée par CG-SM, et la matière organique totale caractérisée à l'échelle moléculaire par py(TMAH)-CG-SM.

Une augmentation significative des teneurs en C a pu être observée dans les faciès visuellement altérés de tous les foyers expérimentaux, à l'exception du foyer *bois*, tandis que seul le foyer *viande* a amené une augmentation de la teneur du sol en N. Dans la fraction lipidique, l'écoulement de moelle issue des os s'est traduit par la contribution des produits de dégradation du triacylglycérol sous l'effet de l'oxydation (à l'air dans l'*entreposage d'os*, ou suite à la combustion pour le foyer *os*). En pyrolyse, les acides méthyl-nonénoïque et méthyl-décénoïque sont apparus caractéristiques de l'*entreposage d'os*, tandis que des cétones et lactones, des acides courts et des doublets alcanes-alcènes l'ont été pour le foyer *os*. Le foyer *bois* a fourni une signature caractérisée par des composés phénoliques, des dérivés d'acide benzoïque et de benzène. Le foyer viande s'est quant à lui distingué par un grand nombre de composés azotés, tant dans la fraction lipidique que dans l'analyse en pyrolyse. Concernant les foyers archéologiques, aucune variation significative des compositions élémentaires n'a pu être quantifiée. A l'échelle moléculaire par contre, l'application du référentiel expérimental a permis de relever une contribution significative de matière organique végétale thermiquement altérée dans les trois foyers, tandis que l'utilisation de MO animale semble évidente uniquement dans l'un des foyers. Ce travail permet donc d'approfondir la caractérisation des différents foyers du site en mettant en évidence de probables différences fonctionnelles.

¹ Bon, F., Mensan, R., Ménard, C., Sellami, F., Szmids, C., 2007. Le site de plein air de Régismont-le-Haut : une halte aurignacienne dans les plaines du Languedoc, in: Qui Est l'Aurignacien? pp. 53-71.

² Lucquin, A., 2016. Untangling complex organic mixture in prehistoric hearths. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, 10456–10457. doi:10.1073/pnas.1612429113

³ March, R.J., Lucquin, A., Joly, D., Ferreri, J.C., Muhieddine, M., 2014. Processes of Formation and Alteration of Archaeological Fire Structures: Complexity Viewed in the Light of Experimental Approaches. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21, 1–45. doi:10.1007/s10816-012-9134-7

⁴ Lejay, M., Alexis, M., Quénéa, K., Sellami, F., Bon, F., 2016. Organic signatures of fireplaces : experimental references for archaeological interpretations. *Organic Geochemistry* 99, 67–77. doi:10.1016/j.orggeochem.2016.06.002

The organic matter in ceramics and associated soils from Yiou-Hsian-Fan site, Neolithic period in Southern Taiwan: An experimental approach

Yang, Feng-Ping¹; March, Ramiro J.¹; Thibaut Jean-Noël²; Garnier, Philippe²

1 UMR 6566 CREAAH du CNRS

2 UMR1348 Pegase INRA

The study of ceramics and soils samples of two periods NS (2000-500 B.P.) and NCT (4000-3500 B.P.) from YHF site for their organic profiles by SEM and GC (Yang, 2002), suggested that organic matter of ceramics of YHF site has different origins, between alkanes and fatty acids but also into (between?) fatty acids signatures. Then we had proposed the necessity to realise more experiments before interpreting the results obtained for archaeological samples (Yang, 2002; Yang and March, 2006, 2012). Even if natural contamination of ceramics could be proposed as a source of organic matter from some ceramics samples, fatty acids signatures seems to reflect their anthropic origin showing similar food sources for these two different periods and in general, that animal sources are more important than plant ones. All ceramics from NCT period were more alike than those from NS period indicating changes for the recent period, but we have found that both the lipids in the soil and the ceramics were insufficient for interpreting the ancient food resources from the site, so new studies implying multi-artefacts (soil, pottery, stone tools, eco-artefacts etc.) are their interaction was necessary to conclude (Yang and March, 2012).

We present here cooking taro, rice and millet (the important stuffs into Austronesian culture) and burying experiments (in dry and wet conditions) results for understanding the transformation and degradation of lipids discovered from the archaeological sites. Cooking experiments results indicates that for tracing the food source origin, analyse of the soup or the juice of cooked food from different cooking techniques is more appropriate than studying the cooked food-itself. The same approach; allow us to establish than in contamination processes the liquid part associated with the soil has a greater influence than the soil itself.

The cooking experiments show that the signatures of saturated fatty acids of raw taro and rice have greater values of C_{16:0}. But while taro is cooking the ceramic signatures shows that not transfer of short fatty acids was produced, ceramic signatures shows greater amounts of C_{18:0}. Raw Millet has different proportions between C_{16:0} and C_{18:0} that can be also near to archaeological signatures both in raw condition as in soup.

The taphonomic experiment results indicates that in the low frequency cooking actions, the culinary ceramic of taro and rice were more and more similar with the non-culinary ceramics, we observed an increase of C_{18:0} since we make soup, either in the dry or in the waterlogged condition and that the proportion of C_{18:0} increased after cooking or buried periods.

Finally, we had applied isotopic techniques (GC-C-IRMS) to saturated fatty acids (Yang and March, 2012). Our results show that that even using isotope analysis we must be careful for interpreting the samples, some vegetable samples can be mistaken with animal ones and that taphonomic processes might have an influence in organic signatures and must be taken into account in these kinds of studies (Yang, 2002; Yang and March, 2006; Yang and March, 2012).

Colonese, A.C. Lucquin, A. Guedes, E.P. Thomas, R. Best, J., Fothergill, B.T., Sykes, N., Foster, A., Miller, H., Poole, K. Maltby, M. Von Tersch, M., Craig, O.E. 2017 The identification of poultry processing in archaeological ceramic vessels using in-situ isotope references for organic residue analysis in: *Journal of Archaeological Science* 78 (2017) 179-192

- Craig, O.E., Steeleb, V.J. Fischer, A. Hartz, S. Andersen, S.H. Donohoe, P. Glykou, A. Saul, H. Jones, D.M. Koch E. & Heron C.P. 2011. Ancient lipids reveal continuity in culinary practices across the transition to agriculture in northern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 108: 17910–15. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1107202108>
- Craig, O.E., Saul, H. Lucquin, A. Nishida, Y., Taché, K., Clarkes, L., Thompson, A., Altoft, D.T., Uchiyama, J., Ajimoto, M., Gibbs, K., Isaksson, S., Heron C.P., & Jordan, P. 2013. Earliest evidence for pottery use. *Nature* 496: 351–54. <http://dx.doi.org/10.1038/nature12109>
- Eerkens, J. W. 2005 GC–MS Analysis and fatty acid ratios of archaeological potsherds from the western great basin of north America *Archaeometry* 47 1(2005) 83–102.
- Evershed, R.P. Dudd S. N. Coppley M.S. & Mutherjee A. 2002 Identification of animals fats via compound specific $\delta^{13}\text{C}$ values of individual fatty acids : assessments of results for reference fats and lipid extracts of archaeological pottery vessels *Documenta Praehistorica* XXIX 73-96 UDK 903.28: 902.65
- Evershed, Richard 2008, Organic residue analysis in archaeology : the archaeological biomarker revolution. *Archaeometry* 50 (6) : 895-924.
- Evershed, R. P. Heron, C. Charters, S. & Goad, L. J. 1992 The survival of food residues: new methods of analysis, interpretation and application. in A. M. Pollard (Éd.), *New developments in archaeological science Proceedings of the british academy (Vol. 77)*: Oxford University Press, pp. 187-208.
- Lucquin, A., Gibbs, K., Uchiyama, J. Saul, H. Ajimoto, M. Eley, Y. Radini, A., Heron C. P., Shoda, S. Nishida, Y. Lundy, J. Jordan, P. Isaksson, S. & Craig O. E. 2016: Ancient lipids document continuity in the use of early hunter–gatherer pottery through 9,000 years of Japanese prehistory in PNAS | April 12, 2016 | vol. 113 | no. 15 | 3991-3996
- Gregg, M. W., Banning, E. B., Gibbs, K., & Slater, G. F., 2009 Subsistence practices and pottery use in Neolithic Jordan: molecular and isotopic evidence. *Journal of Archaeological Science* 36 (2009) 937–946
- Heron, C. Evershed, R. P. Goad, L. J. & Denham, V. 1991 New approaches to the analysis of organic residues from archaeological ceramics. in P. Budd, B. Chapman, C. Jackson, R. Janaway & B. Ottaway (Éds.), *Archaeological Sciences 1989: Proceedings of a Conference on Archaeological Sciences Oxbow Monograph (Vol. 9)*, Oxford: Oxbow Publications, pp. 332-339.
- Heron, C., Habu J., Katayama Owens, M., Ito Y., Eley, Y., Lucquin, A., Radini, A., Saul, H., Debono Spiteri, C. & Craig, O. E. 2016 Molecular and isotopic investigations of pottery and ‘charred remains’ from Sannai Maruyama and Sannai Maruyama No. 9, Aomori Prefecture, Japan in : *Japanese Journal of Archaeology* 4 (2016): 29–52
- Malainey, M. E., R. Przybylski, & B. L. Sherriff. 1999: The effects of thermal and oxidative degradation on the fatty acid composition of food plants and animals of Western Canada: implications for the identification of archaeological vessel residues. *Journal of Archaeological Science*, 26: 95-103.
- Morton, J., and Schwartz, H. P., 2004: Paleodietary implications from isotopic analysis of food residues on prehistoric Ontario ceramics, *Journal of Archaeological Science*, 31, 503–17
- Oras, E. Lucquin A., Lõugas L., Tõrv, M. Kriiska A. Craig, O. E. 2017 The adoption of pottery by north-east European hunter-gatherers: Evidence from lipid residue analysis *Journal of Archaeological Science* 78 (2017) 112-119
- Regert, M., Garnier, N. Decavallas, O. Cren-Olivé, C. & Rolando, C. 2003 Structural characterization of lipid constituents from natural substances preserved in archaeological environments. *Measurement Science Technology*, 14:1620-1630
- Spangenberg, J. E., Jacomet, S., & Schibler, J., 2006, Chemical analyses of organic residues in archaeological pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland—evidence for dairying in the late Neolithic, *Journal of Archaeological Science*, 33(1), 1–13.
- Yang, FP 2002, Chimie organique appliqué à l’étude des céramiques du site You-Hsian-Fan, Taïwan: approche exploratoire. Mémoire de DEA d’Archéologie et Archésciences, Université de Rennes 1.
- Yang, FP and March, Ramiro 2006, Preliminary results of SEM and lipids analysis of experimental taro boiling residues from ceramics at lower temperatures. Pp. 295-303. In “From Homo Erectus to the Living Traditions”, the 11th International Conference of the European Association of Southern Asian Archaeologists, Bougon, 25th -29th September 2006.
- Yang, FP, March, Ramiro, Thibaut, Jean-Noël and Garnier, Philippe 2012, Revisiting fatty acids founded in ceramics and associated soils from the You-Hsian-Fan site, southern Taïwan under experimental results. *EurASEAA*, 2012.

POSTERS

MO et fossiles archéologiques

P-11. Evaluation des acides gras 3-hydroxylés d'origine bactérienne comme marqueurs d'environnement dans les sols

Huguet, Arnaud¹; Roussel, Anthony¹; Anquetil, Christelle¹; Gayraud, Félix¹; Coffinet, Sarah^{1,2}; Bergonzini, Laurent³; Bonanomi, Giuliano⁴; Williamson, David⁵; Majule, Amos⁶; Derenne, Sylvie¹

1 METIS, CNRS/UPMC/EPHE, Paris, France

2 MARUM / University of Bremen, Bremen, Germany

3 GEOPS, UPS/CNRS, Orsay, France

4 Dept of Agriculture, University of Naples Federico II, Naples, Italy

5 LOCEAN, IRD/UPMC/MNHN, Bondy, France

6 IRA, Univ. of Dar Es Salaam, Dar Es Salaam, Tanzania

Connaître les amplitudes climatiques passées et comprendre leurs interactions avec la géosphère et la biosphère est aujourd'hui crucial pour appréhender les changements climatiques à venir. Aucune mesure environnementale directe antérieure au 19^{ème} siècle n'étant disponible, notre connaissance des modifications climatiques passées repose principalement sur l'utilisation de marqueurs (proxies) de paramètres de l'environnement. Les tetraéthers d'origine bactérienne ont fait l'objet d'un intérêt grandissant ces dernières années, car ils constituent les seuls marqueurs microbiens applicables à ce jour aux reconstructions paléoclimatiques en milieu terrestre. Les données paléoenvironnementales issues de ces molécules découvertes récemment doivent cependant être interprétées avec précaution, notamment car leurs microorganismes sources restent inconnus à ce jour. Le développement de nouveaux marqueurs, indépendants et complémentaires des tetraéthers, est indispensable pour améliorer la fiabilité des reconstructions paléoclimatiques en milieu continental.

Très récemment, Wang et al. (2016) ont montré que d'autres lipides d'origine bactérienne, les acides gras 3-hydroxylés (AGH), pourraient également servir de marqueurs environnementaux dans les sols. Ces composés, qui contiennent 10 à 18 C, sont des constituants caractéristiques du lipopolysaccharide (LPS) des bactéries Gram-négatif. Wang et al. (2016) ont analysé les AGH dans 26 sols prélevés entre 315 et 2840 m d'altitude le long du Mont Shennongjia (Chine) et ont établi différentes corrélations entre l'abondance relative des différents types d'AGH (chaînes normales, *iso* et *anteiso*) et la température de l'air ou le pH. Ces premiers résultats sont prometteurs, mais obtenus à partir d'un nombre limité de sols, prélevés dans une seule région. Il reste désormais à savoir si les corrélations observées le long du Mont Shennongjia sont généralisables et si ces composés sont effectivement utilisables comme proxies de température et de pH en milieu continental.

L'objectif de cette étude était de tester l'applicabilité des AGH comme marqueurs de température et de pH dans une quarantaine de sols prélevés le long de deux transects altitudinaux contrastés : le mont Rungwe en Tanzanie (520-2800 m d'altitude) et le mont Majella en Italie (400-2800 m d'altitude). Les AGH ont été détectés dans l'ensemble des sols, les composés à chaînes paires et normales étant prédominants par rapport aux homologues impairs, *iso* et *anteiso*. Une corrélation significativement négative entre le pH et l'abondance relative des AGH *iso* et *anteiso* par rapport aux AGH à chaînes normales a été observée en considérant l'ensemble des sols des monts Shennongjia, Majella et Rungwe ($R^2 = 0,59$; écart quadratique moyen (RMSE) = 0,6). De même, il a été observé que la proportion des AGH à chaînes *anteiso* et normale était corrélée négativement à la température de l'air pour les composés contenant 15 ($R^2 = 0,61$; RMSE) et 17 ($R^2 = 0,61$; RMSE = 5,1 °C) atomes de carbone. Ceci suggère que le mécanisme d'adaptation des bactéries sources des AGH est comparable

quelle que soit la montagne considérée. Ces résultats montrent le potentiel des AGH comme marqueurs de température et de pH dans les sols, qui devra être confirmé après analyse d'un plus grand nombre d'échantillons.

Wang, C., Bendle, J., Yang, Y., Yang, H., Sun, H., Huang, J., Xie, S., 2016. Impacts of pH and temperature on soil bacterial 3-hydroxy fatty acids: Development of novel terrestrial proxies. *Organic Geochemistry* 94, 21-31.

P-12. Observation et rétro-observation du milieu urbain par des approches paléoenvironnementales exploitant les polluants comme traceurs. Cas du réseau d'assainissement d'Orléans Métropole

Jacob, Jérémie¹; Simonneau, Anaëlle¹; Thibault, Alexandre¹; Thiebault, Thomas¹; Le Milbeau, Claude¹; Di Giovanni, Christian¹; Pierre Sabatier²; Ardito, Luigi³; Fougère, Laetitia⁴; Destandau, Emilie⁴; Morio, Cédric⁵

- 1 *ISTO, UMR 7327 du CNRS, Université d'Orléans, BRGM, Orléans, France. Courriel : jeremy.jacob@cnrs-orleans.fr*
- 2 *EDYTEM, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, Le Bourget du Lac, France.*
- 3 *Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Orléans, France.*
- 4 *ICOA, UMR 7311 du CNRS, Université d'Orléans, Orléans, France.*
- 5 *Aggl'O, Direction du Cycle de l'Eau et des Réseaux d'Energie, La Chapelle Saint Mesmin, France.*

Pour déceler l'impact des forçages climatique et anthropique sur l'évolution des milieux continentaux, la sédimentologie et la géochimie sont classiquement appliquées à des archives géologiques prélevées en contexte "naturel", tels que les lacs. Contribuer aux débats sur ce qui définit/date le début de l'Anthropocène nécessite de transposer ces approches. Notre parti-pris a été d'étudier le socio-écosystème le plus emblématique de cette période : la ville. En considérant l'espace urbain comme tout bassin versant (une entité géographique parcourue de réseaux hydriques), et en choisissant une archive sédimentaire inédite s'accumulant dans un réceptacle d'origine anthropique, nos objectifs sont : (1) de comprendre les modalités et les temporalités de construction de cette archive; (2) d'y identifier les traceurs porteurs d'informations environnementales et anthropiques; (3) de retracer leur évolution temporelle (apparition, disparition, variation) et de la relier à l'évolution du métabolisme urbain, selon des échelles journalière à décennale, en couplant un suivi des flux entrants (temps court) avec l'archivage sédimentaire en résultant (temps long). A terme, ces recherches pourront aider à la définition des systèmes d'alerte et à l'évaluation des politiques publiques.

Le traçage sur 85 jours consécutifs des drogues et des médicaments permet de suivre les habitudes de consommation à l'échelle locale, et donc la dynamique journalière de relargage de ces contaminants dans le réseau d'eaux usées. Pour accéder aux dynamiques temporelles plus longues, nous avons prélevé des carottes sédimentaires dans la chambre à sable d'Orléans : un bassin de décantation construit en 1942, jamais curé avant le début de l'étude, et alimenté par les eaux usées et eaux pluviales de la partie nord de l'agglomération. Les carottes longues permettent d'approcher les dynamiques décennales tandis que des carottes courtes, réalisées entre deux opérations de curage, témoignent de dynamiques annuelles. Les sédiments sont constitués d'alternances entre niveaux minéraux fins et grossiers, et niveaux organiques. Les dates ¹⁴C et ⁷Be indiquent 2,5m de sédiments accumulés depuis 1980 pour les carottes longues, et 1,5m par an pour les carottes courtes. Les analyses sédimentologiques et géochimiques confrontées aux chroniques des précipitations montrent que la sédimentation est contrôlée par les apports respectifs en eaux usées et eaux pluviales au gré des variations de précipitations. Les teneurs en médicaments et drogues semblent, elles, davantage liées aux teneurs en phases porteuses (minérales et organiques) qu'à des variations dans leur production/consommation.

P-13. Processus de formation des signatures lipidiques dans les sols : une approche expérimentale

March, Ramiro J.¹; Guillou, C.,¹ Cordero, J. A.¹; Thiebault, J.²; Garnier, Philippe²

1 UMR 6566 CREAAH du CNRS

2 UMR1348 Pegase INRA

L'étude de signatures des lipides dans les sols archéologiques nous aide à comprendre la nature des processus biologiques, anthropiques et environnementales que se sont produits dans le passé. Cependant, il reste beaucoup de chemin à parcourir pour bien comprendre les processus de formation des signatures lipidiques retrouvés en contexte archéologique. Cette communication présente les premiers résultats d'une approche expérimentale visant à comprendre les transformations des signatures chimiques (moléculaires et isotopiques) lors des processus de transfert des lipides animaux dans les sols. Nous avons effectué une série d'expériences d'enfouissement de soupe de cerf, (froide ou chaude) dans différents milieux sédimentaires (sables, argiles, loess) et sous différentes conditions de départ (froid - chaud) pendant une durée de 18 mois (avec des spots à 3, 6 et 18 mois et à différentes profondeurs surface, 1cm et 2 cm) de façon à explorer les transformations bactériologiques souffertes par des lipides d'origine animale lors de leur dépôt dans le sol pour mieux caractériser les signatures chimiques du passé. Ces signatures chimiques ont été étudiées par CG-MS et CG-IRMS de façon à déterminer, les transformations souffertes dans leur composition lipidique suite aux processus d'enfouissement dans le temps à différentes profondeurs. Nos résultats mettent en évidence des transformations dans la distribution des lipides mais aussi dans les valeurs isotopiques moléculaires des acides gras suite à ces processus complexes. Finalement on analyse les possibilités et limites de cette première approche.

Badiani, A., S. Stipa, F. Bitossi, P. P. Gatta, G. Vignola, & Chizzolini R. 2002: Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices. *Meat Science*, 60: 169–186.

Bar Yosef, O., Cavalli-Sforza, L., March, R. J. & Piperno, M. Editors, 1996: Colloquia 5 The Lower and Middle Paleolithic : Colloquium IX The study of human behaviour in relation to fire in archaeology, new data and methodologies for understanding prehistoric fire structures and Colloquia X The origin of modern man XIII International Congress of prehistoric and protohistoric sciences Forli- Italia-8/14 September 1996, A.B.A.C.O, Edizioni, Forli, Italy. 272 p.

Belitz, H.-D., & Grosch W. 1999 Food chemistry. (Traduit par P. Hesser, C. Sprinz, S. Jordan & M. Burghagen) (2nde éd.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 992 pages.

Bethell, P. H., Ottaway, J., Goad, L. J. & Evershed, R. P. 1994. The study of molecular markers of human activity: the use of coprostanol in the soil as an indicator of human faecal material. *Journal of Archaeological Science* 21, 619–632.

Buonasera, T. 2005 : Fatty acid analysis of prehistoric burned rocks: a case study from central California *Journal of Archaeological Science* 32 (2005) 957-965

Carrer, F., Colonese, A. C. Lucquin, A. Petersen Guedes, E., Thompson, A. Walsh, K. Reitmaier, Th. Craig, O. E. 2016 Chemical Analysis of Pottery Demonstrates Prehistoric Origin for High-Altitude Alpine Dairying in *PLoS ONE* 11(4): e0151442. doi:10.1371/journal.pone.0151442 April 21, 2016 1-11

Charrié-Duhaut, A. Burger, P. Maurer, J. Connan, J. Albrecht P. 2009 Molecular and isotopic archaeology: Top grade tools to investigate organic archaeological materials in : *Comptes Rendus Chimie*, Volume 12, Issues 10–11, October–November 2009, Pages 1140-1153

Colonese, A.C. Lucquin, A. Guedes, E.P. Thomas, R. Best, J., Fothergill, B.T., Sykes, N., Foster, A., Miller, H., Poole, K. Maltby,

- M. Von Tersch, M., Craig, O.E. 2017 The identification of poultry processing in archaeological ceramic vessels using in-situ isotope references for organic residue analysis in: *Journal of Archaeological Science* 78 (2017) 179-192
- Craig, O.E., Allen, R.B., Thompson, A., Stevens, R.E., Steele, V.J. & Heron, C.P. 2012. Distinguishing wild ruminant lipids by gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 26: 2359–64. <http://dx.doi.org/10.1002/rcm.6349>
- Craig, O.E., Saul, H. Lucquin, A. Nishida, Y., Taché, K., Clarkes, L., Thompson, A., Altoft, D.T., Uchiyama, J., Ajimoto, M., Gibbs, K., Isaksson, S., Heron C.P., & Jordan, P. 2013. Earliest evidence for pottery use. *Nature* 496: 351–54. <http://dx.doi.org/10.1038/nature12109>
- Deniro M. J. & Epstein S. 1978 Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, Vol. 42. pp. 495 to 506.
- Eerkens, J. W. 2005 GC–MS Analysis and fatty acid ratios of archaeological potsherds from the western great basin of north America *Archaeometry* 47 1(2005) 83–102.
- Evershed, R. P. 1993: Biomolecular archaeology and lipids. *World Archaeology*, 25 (1): 74-93.
- Evershed, R.P. Dudd S. N. Coppley M.S. & Mutherjee A. 2002 Identification of animals fats via compound specific ¹³C values of individual fatty acids : assessments of results for reference fats and lipid extracts of archaeological pottery vessels *Documenta Praehistorica* XXIX 73-96 UDK 903.28: 902.65
- Evershed, R. P. Heron, C. Charters, S. & Goad, L. J. 1992 The survival of food residues: new methods of analysis, interpretation and application. in A. M. Pollard (Éd.), *New developments in archaeological science Proceedings of the british academy (Vol. 77)*: Oxford University Press, pp. 187-208.
- Gregg, M. W., Banning, E. B., Gibbs, K., & Slater, G. F., 2009 Subsistence practices and pottery use in Neolithic Jordan: molecular and isotopic evidence. *Journal of Archaeological Science* 36 (2009) 937–946
- Heron, C., Habu J., Katayama Owens, M., Ito Y., Eley, Y., Lucquin, A., Radini, A., Saul, H., Debono Spiteri, C. & Craig, O. E. 2016 Molecular and isotopic investigations of pottery and ‘charred remains’ from Sannai Maruyama and Sannai Maruyama No. 9, Aomori Prefecture, Japan in : *Japanese Journal of Archaeology* 4 (2016): 29–52
- Lucquin, A., Gibbs, K., Uchiyama, J. Saul, H. Ajimoto, M. Eley, Y. Radini, A., Heron C. P., Shoda, S. Nishida, Y. Lundy, J. Jordan, P. Isaksson, S. & Craig O. E. 2016: Ancient lipids document continuity in the use of early hunter–gatherer pottery through 9,000 years of Japanese prehistory in *PNAS* | April 12, 2016 | vol. 113 | no. 15 | 3991-3996
- Malainey, M. E., R. Przybylski, & B. L. Sherriff. 1999: The effects of thermal and oxidative degradation on the fatty acid composition of food plants and animals of Western Canada: implications for the identification of archaeological vessel residues. *Journal of Archaeological Science*, 26: 95-103.
- March, R. J., Baldessari, A. & Gross, E. G. 1989 Determinacion de compuestos orgánicos en estructuras de combustion arqueológicas. in M. Olive & Y. Taborin (Éds.), *Nature et Fonction des foyers préhistoriques, Actes du colloque international de Nemours (1987)* Nemours: APRAIF, pp. 47-58.
- March R.J. Baldessari, A. Gros E.G, Ferreri, J. C. Morello, O. & Rodano R. 1989b - Étude des structures de combustion archéologiques d'Argentine. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 10-12 pp.384-392.
- March, R. J. 1995 *Méthodes physiques et chimiques appliquées à l'étude des structures de combustion préhistoriques: l'approche par la chimie organique* Thèse de Doctorat, 3 vol. Université de Paris I, Panthéon Sorbonne.1995. 524 p.
- March R. J. 1996 L'étude des structures de combustion préhistoriques : une approche interdisciplinaire. In Bar-Yosef O., Cavalli-Sforza L. L., March R.-J., Piperno M. (eds) 1996, pp. 251-275.
- March, R.J. 1999: Chimie organique appliquée à l'étude des structures de combustion du site de Túnel I. *Revue d'archéométrie*. 23 : 127-156.
- March R. J. 2013: Searching for the Functions of Fire Structures in Eynan (Mallaha) and their Formation Processes: a Geochemical Approach, In : O. Bar Yosef & F. Valla ed., *Natufian Foragers in the Levant : Terminal Pleistocene Social Changes*

in Western Asia. International Monographs in Prehistory edited by Ofer Bar-Yosef & François R. Valla Archaeological Series 19, Ann Arbor, Michigan Chapter 17 ; 57 p.

March R.J. 2017 Finding, Analyzing, and Interpreting Organic Matter in Archaeology: A Complex Subject. In : oral communication presented at the symposium: The science of organic residue analysis and the art of cultural interpretation. 82nd Annual Meeting Society for American Archaeology

March R. J., Joly D., Lucquin A., & Dumarçay. G., 2006: Les activités liées à l'utilisation du feu. In : BODU P., JULIEN M., VALENTIN B., DEBOUT G. (Ed.), Un dernier hiver à Pincevent : les magdaléniens du Niveau IV-0 (Pincevent, La Grande-Paroisse, Seine-et-Marne), Gallia Préhistoire, Tome 48, pp. 89-108

March R. J., Dumarçay. G., & Lucquin A., 2006b: De la gestion des déchets de combustion à l'organisation de l'espace. In : BODU P., JULIEN M., VALENTIN B., DEBOUT G. (Ed.), Un dernier hiver à Pincevent : les magdaléniens du Niveau IV-0 (Pincevent, La Grande-Paroisse, Seine-et-Marne), Gallia Préhistoire, Tome 48, pp. 109-116

March R. J., Dorta R., Sistiaga A., Galván B., & Hernández C., 2008: Tras el fuego de los neandertales. Química Orgánica aplicada al estudio de los fogones de El Salt. In : Actas del VI Congreso Ibérico de arqueometria, 7-9 Octubre 2007, Madrid Museo Nacional de Arqueología, pp. 28-41.

March R. J. & Largeau, C. & Guenot, P. 2003 : Les structures de combustion du bronze final du gisement Le Closeau (IFP et Parcelle Mairie) 2 : Leur Fonction. in M.-C. Frère-Sautot (Éd.), *Le feu domestique et ses structures au néolithique et aux âges des métaux (Actes du colloque Bourg-en-Bresse 7 octobre 2000 Beaune 8 Octobre 2000) Préhistoires (Vol. 9)*, Montagnac: Ed. Monique Mergoïl, pp. 177-198.

March, R. J., Lucquin, A., Joly, D., Muhieddine, M. & Ferreri, J.C., 2012 : Processes of formation and alteration of archaeological fire structures: complexity viewed in the light of experimental approaches. *Journal of Archaeol Method and Theory*. 2014 21: 1. doi:10.1007/s10816-012-9134-7 first in line 2012

March R. J. Monnier J. L & Largeau C. 2006: L'homme erectus et le feu : la géochimie sur la trace des plus anciens foyers européens. In : actes du colloque de Carqueranne Les Matières Organiques en France : Etat de l'art et perspectives. 22-24 Janvier 2006 Carqueranne France. I-21 édition pdf

March R.J., Soler Mayor B., 1999: Etude de cas : analyse fonctionnelle de la structure 1. In : Julien, M. Rieu J-L (dir) Occupations du paléolithique supérieur dans le sud-est du Bassin parisien, D.A.F. 78 Paris Maison de Sciences de l'Homme :102-129.

Marchbanks, M. L. 1989 Lipid analysis in archaeology: an initial study of ceramics and subsistence at the George C. Davis site. Master of Arts, The University of Texas at Austin, Austin.

Marchlewska-Kog, A. Lepri, Jh.J. & Müller-Schawrze, D. 2001: Chemical signals in Vertebrates. Proceedings of the ninth International Symposium on chemical signals in Vertebrates held July 25-29 2000, in Krakow Poland. Springer Science ed. 481 p.

Morgan, E. D., Cornford, C. Pollock, D. R. J. & Isaacson, P. 1973 The transformation of fatty material buried in soil. *Science and Archaeology*, 10: 9-10.

Outram, A. K., Stear, N. A., Bendrey, R., Olsen, S., Kasparov, A., Zaibert, V., Thorpe, N., & Evershed, R. P., 2009: The earliest horse harnessing and milking, *Science*, 323, 1332–5.

Oras, E. Lucquin A., Lõugas L., Tõrv, M. Kriiska A. Craig, O. E. 2017 The adoption of pottery by north-east European hunter-gatherers: Evidence from lipid residue analysis *Journal of Archaeological Science* 78 (2017) 112-119

Paleari, M. A., Moretti V. M., Beretta, G. Mentasti, T. & Bersani C. 2003 : Cured products from different animal species. *Meat Science*, 63 (4): 485-489.

Pepe, C., Dizabo P., Scribe P., Dagaut J., Fillaux J. & Saillot A., 1989 Les marqueurs biogéochimiques: application à l'archéologie. *Revue d'Archéométrie*, 13 : 1-12.

Petkov, R. 1986 : Fatty acid content of the lipid fraction of the meat from deer and roe deer. *Veterinarno-meditsinski nauki*, 23 (1): 53-57 (in Bulgarian).

- Polak, T. Rajar, A. Gašperlin, L. & Jender B. Z̃ 2008 Cholesterol concentration and fatty acid profile of red deer (*Cervus elaphus*) meat *Meat Science* 80 (2008) 864–869
- Regert, M., Garnier, N. Decavallas, O. Cren-Olivé, C. & Rolando, C. 2003a Structural characterization of lipid constituents from natural substances preserved in archaeological environments. *Measurement Science Technology*, 14:1620-1630.
- Ruess L. & Chamberlain P. M. 2010: The fat that matters: Soil food web analysis using fatty acids and their carbon stable isotope signature *Soil Biology & Biochemistry* 42 (2010) 1898-1910
- Sampels, S. 2005: Fatty Acids and Antioxidants in Reindeer and Red Deer : Emphasis on Animal Nutrition and Consequent Meat Quality. Doctoral thesis *Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences Department of Food Science* Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2005 62 p
- Sistiaga Gutiérrez A. ; March, R. ; Hernández Gómez C. & Galván Santos B. 2011 Aproximación desde la química orgánica al estudio de los hogares del yacimiento del Paleolítico medio de El Salt (Alicante, España) in : *Recerques del Museu D'Alcoi*, 20 (2011), 47-70
- Spangenberg, J., Ferrer, M., Tschudin, P., Volken, M., Hafner, A. 2010 Microstructural, chemical and isotopic evidence for the origin of late neolithic leather recovered from an ice field in the Swiss Alps in: *Journal of Archaeological Science* 37 (2010) 1851–1865
- Spangenberg, J. E., Jacomet, S., & Schibler, J., 2006, Chemical analyses of organic residues in archaeological pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland—evidence for dairying in the late Neolithic, *Journal of Archaeological Science*, 33(1), 1–13.
- Spangenberg, J.E. Ogrinc, N. 2001 Authentication of vegetable oils by bulk and molecular carbon isotope analyses e with emphasis on olive oil and pumpkin seed oil, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2001) 1534-1540.
- Volpelli, L. A., Valusso, R., Morgante, M., Pittia, P., & Piasentier, E. 2003: Meat quality in male fallow deer (*Dama dama*): Effects of age and supplementary feeding. *Meat Science*, 65, 555–562.
- Wiesenberg, G.L.B. Lehndorff, E. & Schwark L. 2009: Thermal degradation of rye and maize straw: Lipid pattern changes as a function of temperature *Organic Geochemistry* 40 (2009) 167–174
- Wiklund, E., Manley, T. R. Littlejohn, R. P. & Stevenson-Barry, J. M. 2003 Fatty acid composition and sensory quality of *Musculus longissimus* and carcass parameters in red deer (*Cervus elaphus*) grazed on natural pasture or fed a commercial feed mixture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 419–424.

MO et Biodiversité

La MO comme moteur de la biodiversité –

Resource nutritive ; Interactions biotiques ; communication moléculaire

Conférence introductive Session MO et biodiversité

Soil organic matter and biodiversity

Hättenschwiler, Stephan; Freschet, Grégoire

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (UMR 5175 CEFE), CNRS, Montpellier

Soil organic matter (SOM) received increasing attention as a critical component in the global carbon (C) budget and the changes in C dynamics with ongoing climate change. Soil scientists made considerable recent progress in the understanding of factors controlling SOM dynamics and stabilization. The key role of transformation processes by microorganisms is acknowledged, their diversity and interactions with other soil organisms and living plants, however, are mostly ignored. Conceptual and quantitative models continue to treat the tremendous diversity of soil organisms as black box. While this approach is operationally convenient, it neglects fundamental ecological processes such as competition, facilitation and complementarity among the diverse soil organisms, which depend on SOM as single basic resource for their energy and - to a lesser extent - nutrient requirements. With an ecologist's view, we attempt to highlight how biodiversity might influence SOM dynamics and ultimately affect soil C stabilization beyond microbial transformation of organic molecules. We focus on essentially three aspects of biodiversity: 1) plant diversity by considering the diverse resources they provide for soil organisms in the form of dead organic matter, 2) the diversity of plant root structure and function in association with their symbionts, and 3) the diversity of soil fauna. We argue that biodiversity has a role to play in SOM dynamics and in the persistence of soil C. However, the quantification of such biodiversity effects remains difficult, and their conceptual integration in existing or new models is highly challenging. A closer interaction between soil scientists and ecologists may foster new ideas and indicate ways of how to allocate the contribution of biodiversity in SOM dynamics.

POSTERS

MO et Biodiversité

P-14. Evaluation de l'impact de complément de fertilisation sur les microorganismes du sol

Blieux, Anne-Laure¹; Dequiedt, Samuel²; Maron, Pierre-Alain²; Ranjard, Lionel²; Yvin, Jean-Claude³; Leménager, Diane³

- 1 *Welience Agro-Environnement Maison Régionale de l'Innovation, 64A rue de Sully – CS 77124 – 21071 DIJON Cedex*
- 2 *Plateforme GenoSol, UMR Agroécologie, INRA/AgroSup/Université de Bourgogne, 17 rue Sully – BP 86510 – 21065 DIJON Cedex*
- 3 *Centre mondial de l'innovation, 18 avenue Franklin Roosevelt 35400 Saint Malo*

Dans les agro-écosystèmes, l'apport d'intrants organiques ou minéraux a pour but d'augmenter la productivité végétale. Toutefois, de nombreux produits revendiquant une stimulation de l'activité biologique des sols sont présents sur le marché. L'effet sur les paramètres agronomiques reste variable selon les produits pour une remontée de pH identique. L'hypothèse **d'une action différente des produits sur les microorganismes** du sol a donc été émise.

L'objectif est de mesurer les indicateurs d'évaluation de l'état microbiologique du sol afin d'évaluer l'impact de complément de fertilisation sur les communautés microbiennes des sols.

Les effets de plusieurs produits sont comparés dans cette étude. Le calcimer, qui est un carbonate de calcium, le complément de fertilisation Minactiv sur une base de calcimer, et deux dolomies d'origine différente.

L'étude en microcosmes a montré des variations importantes de l'intensité du pH suite à l'apport des traitements et notamment un **impact du calcimer et du minactiv sur le pH du sol**.

Les travaux effectués sur les **mesures de respiration** ont permis de mettre en évidence **l'augmentation par le minactiv et le calcimer**. Ils entraînent donc une stimulation de la minéralisation de la matière organique du sol plus importante que les dolomies. L'effet des traitements sur la composition microbienne est **spécifique et indépendante de leur action sur le pH**.

Pour compléter et préciser les données obtenues dans ce projet, il serait intéressant d'étudier les communautés microbiennes après plusieurs années d'application des traitements, dans le but d'évaluer un possible effet cumulatif à long terme. D'autre part, la diversification des conditions d'expérimentation (sols, modes d'usage, travail du sol ...) permettrait d'évaluer la généralité des produits.

P-15. Réponse de l'activité microbienne de dégradation de la MOS en présence de différentes espèces lombriciennes (épi-anéciques vs. anéciques stricts)

Hoeffner, Kevin, Santonja, Mathieu, Cluzeau, Daniel, Monard, Cécile

UMR ECOBIO, CNRS-Université de Rennes 1, France

En tant que détritivores, les lombriciens, qualifiés d'ingénieurs des sols, ont un rôle clé dans la dégradation de la matière organique du sol. Leur contribution à cette fonction se fait soit directement par la consommation de matière organique morte, soit indirectement par la stimulation des communautés microbiennes du sol. La plupart des études portant sur l'évaluation de leur contribution à cette fonction ont été conduites à l'échelle de quatre groupes fonctionnels (épigé, épi-anécique, anécique strict et endogé). Chaque groupe fonctionnel décrit dans ces études est très souvent représenté par une seule et même espèce modèle. Cependant, les traits anatomiques et physiologiques des lombriciens appartenant à un même groupe fonctionnel sont différents ce qui pourrait modifier leur implication dans le processus de dégradation de la matière organique du sol. Parmi les groupes fonctionnels, les épi-anéciques et les anéciques stricts créent des galeries verticales qui constituent des 'hot spots' d'activité pour les microorganismes. En effet, ces galeries sont connectées à la surface et donc aérées, elles sont également enrichies en matière organique incorporée en profondeur par les lombriciens et accessible aux microorganismes du sol. Les microorganismes vont alors excréter des enzymes impliquées dans différents cycles biogéochimiques (C, N, P) témoignant de leur activité de décomposition.

Cette étude a pour objectifs de déterminer et comparer la contribution de différentes espèces de lombriciens au sein des épi-anéciques et des anéciques stricts à la dégradation de MOS. Pour cela, une expérimentation utilisant des microcosmes de sol a été conduite pour comparer l'impact de (1) trois épi-anéciques séparés (*Lumbricus rubellus*, *L. centralis* et *L. terrestris*), (2) trois anéciques stricts séparés (*Aporrectodea caliginosa meridionalis*, *A. nocturna* et *A. Giardi*) et (3) les effets de mixité entre ces différentes espèces (par couple de deux espèces) sur cinq activités enzymatiques du sol. Les activités enzymatiques mesurées étaient la FDA (activité globale du sol), la Beta-Glucosidase (cycle du carbone), la Cellulase (cycle du carbone), la Leucine Amino Peptidase (cycle de l'azote) et la Phosphatase (cycle du phosphore). Les lombriciens ont été nourris pendant 30 jours avec *Lolium perenne*. Les activités enzymatiques ont été analysées à la fin de l'expérimentation (30 jours) dans les édifices de surface (turricules) et dans les galeries des lombriciens et comparées à celles mesurées dans un microcosme de sol sans lombriciens. Nous avons observé que les activités enzymatiques étaient significativement stimulées en présence d'épi-anéciques par rapport aux anéciques stricts dont les niveaux d'activité enzymatique étaient similaires à ceux observés dans le sol sans lombriciens. Aucune différence n'a été trouvée entre des espèces d'un même groupe fonctionnel et les effets de mixité des espèces (intra ou inter groupe fonctionnel) sur les activités enzymatiques étaient additifs (redondance fonctionnelle). Ces premiers résultats confortent le regroupement des lombriciens en groupes fonctionnels initialement basés sur des critères morphologiques, physiologiques et écologiques et donc cohérents avec les mesures d'activités microbiennes réalisées.

P-16. Réponse de la diversité bactérienne des sols agricoles aux pratiques de fertilisation organique et conséquences sur les émissions de composés organiques volatils (COVs) vers l'atmosphère

Potard, K. ^{1,2}; Monard, Cécile ¹; Le Bris, N. ¹; Caudal, J.P. ¹; Le Garrec, J.L. ²; Binet, F. ¹

¹ UMR 6553 ECOBIO, CNRS - Université de Rennes 1; France - cecile.monard@univ-rennes1.fr

² UMR 6251 Institut de Physique de Rennes, CNRS - Université de Rennes 1, France

Il a été montré récemment que la dégradation microbienne de la matière organique du sol (MOS) produit des COVs qui, une fois dans l'atmosphère, participent à la formation de gaz à effet de serre (GES). Les COVs sont donc en partie responsables de la dégradation de la qualité de l'air et pourraient altérer le fonctionnement des écosystèmes. Récemment il a été suggéré que les sols pourraient contribuer à des émissions de COVs jusqu'alors sous estimées et qui constitueraient une perte significative de C qui serait à prendre en compte dans le cycle du C.

En modifiant à la fois les communautés microbiennes et les sources de MOS, les pratiques agricoles peuvent contrôler la dégradation de la MOS. Il est donc important d'évaluer ces changements suite à des apports de déchets organiques utilisés comme fertilisants des sols, tels que les lisiers ou encore leurs résidus de fermentation anaérobie obtenus lors de la production de biogaz. Il faut ainsi s'assurer que de telles pratiques recommandées dans le cadre de la COP 21 n'augmenteraient pas les flux de COVs du sol vers l'atmosphère.

Notre étude s'est appuyée sur le site expérimental EFELE (Le Rheu, Bretagne) du réseau SOERE-PRO et piloté par l'UMR SAS. Il est dédié à l'étude des effets agronomiques et environnementaux des apports d'effluents d'élevage utilisés comme fertilisants organiques des sols. Nous nous sommes intéressés aux apports de lisier de porc (LP) et de son digestat de méthanisation (DLP) réalisés sur des microparcelles répliquées ainsi qu'à des microparcelles contrôle ne recevant aucun apport. Juste avant et jusqu'à deux mois suivant les apports, des échantillonnages dynamiques de COVs ont été réalisés et du sol a été prélevé simultanément afin d'analyser la diversité des bactéries actives par metabarcoding ciblant l'ARNr 16S. Il s'agissait de relier cette diversité bactérienne du sol aux émissions de COVs déterminées à l'aide d'un PTR-MS.

Un an après le dernier apport organique et après 5 ans de fertilisation annuelle, aucun effet des pratiques de fertilisation n'a été observé sur la composition des communautés bactériennes et sur les émissions de COVs par les sols. Cependant, quelques jours suivant leur apport, les deux intrants ont été associés à une inoculation de *γ-Proteobacteries* dans les sols. De plus l'apport de LP a activé *Bacillus* sp. (Firmicutes) qui est une bactérie indigène de ces sols.

Les spectres de COVs étaient dominés par le méthanol et l'acétonitrile. Les apports de LP et DLP ont différemment impacté les émissions de COV par les sols : le LP a doublé les flux de C-COVs en raison de l'augmentation de l'émission de méthanol, tandis que le DLP les a réduits à des valeurs moindre que celles des parcelles contrôle. Ces résultats sont d'un grand intérêt dans le contexte de l'atténuation des émissions de GES dans les paysages agricoles. Ils suggèrent que les flux de COVs par les sols pourraient, dans certaines conditions, ne pas être marginaux par rapport aux flux de COVs issus des plantes et être potentiellement régulés par de nouvelles pratiques en l'agriculture.

P-17. Matières organiques anthropiques et biodiversité dans la génèse d'un Technosol construit

Watteau, Françoise¹; Villenave, Cécile²; Piron, Denis³; Séré, Geoffroy¹; Cortet, Jérôme⁴

1 Laboratoire Sols et Environnement, UL-UMR INRA 1120, 54 505 Vandœuvre-lès-Nancy

2 ELISOL environnement, ECO&SOLS UMR 210, IRD, SupAgro, 34060 Montpellier cedex 1

3 UMR CNRS EcoBio – Université de Rennes1, Station biologique, 35380 Plélan le Grand Cedex

4 Univ. Paul Valéry Montpellier 3, CEFE UMR 5175, 34000 Montpellier

Les Technosols (USS Working Group WRB 2006) sont des sols, dont les propriétés et la pédogénèse sont dominées par des matériaux artificiels ou transportés. Pour restaurer des zones polluées d'anciens sites industriels, il est possible d'utiliser des Technosols construits, issus de process d'ingénierie environnementale (Séré et al., 2010). Ces Technosols sont constitués de matériaux, organiques et minéraux, qui sont habituellement considérés comme des déchets ou des sous-produits.

Dans le cadre du programme Biotechnosol (2013), le Technosol construit étudié est constitué (i) en surface, d'une couche de composts de déchets verts (CDV) et (ii) d'un horizon organo-minéral sous-jacent issu d'un mélange de terres industrielles traitées par désorption thermique (TIT) et de sous-produits papetiers (SPP). Sur des parcelles de plus d'un ha (www.gisfi.fr), le projet Biotechnosol vise à décrire la dynamique de colonisation par les organismes (bactéries et mycorhizes, nématodes, microarthropodes, macroarthropodes, lombriciens) et ses effets sur différentes fonctions du sol. Si les résultats obtenus mettent en évidence une dynamique correspondant à un système pionnier (Biotechnosol, 2013), cette présentation s'attache à souligner des liens fonctionnels entre les matières organiques d'origine anthropique utilisées dans ce sol construit et la biodiversité mesurée.

Une caractérisation morphologique et analytique des structures du sol (MO et biostructures), à l'échelle de lames minces et en microscopie électronique à transmission a été réalisée à T0 et à T2ans. Si le CDV est constitué de MO naturelles (déchets ligneux, herbes...), il montre également dès sa mise en place, une activité microbienne au sein des éléments organiques, ainsi qu'une dégradation des MO par la faune (e.g. observation de boulettes fécales, en particulier d'oribates). Les SPP quant à eux sont constitués de fibres de cellulose, colonisée en partie par des bactéries présentant une activité cellulolytique. A T 2ans, l'horizon superficiel est constitué à la fois des résidus évolués du CDV initial ainsi que de l'accumulation de la litière de la végétation colonisatrice (prairie semée et colonisation spontanée). Les turricules y sont essentiellement organo-minéraux, alors qu'à T0 la majorité étaient holorganiques, mettant ainsi en évidence un brassage des matériaux et une structuration biogénique du Technosol au cours du temps. Ce résultat est à relier à la dynamique de colonisation des parcelles par la faune, une explosion de lombriciens succédant à la présence d'espèces phytophages dès le début de l'expérimentation. De même, la caractérisation de déjections de lombriciens observée au sein de l'horizon organo-minéral montre l'ingestion des MO anthropiques (SPP) et le brassage par la faune des trois matériaux parents (CDV, SPP, TIT).

Au sein de ce sol en formation, l'activité biologique due au développement de la végétation et à la colonisation par la faune, impacte fortement l'évolution des matières organiques, naturelles et anthropiques, elles-mêmes sélectionnant la biodiversité présente. Ces relations sont essentielles à connaître afin de préciser les services écosystémiques que peuvent rendre les Technosols construits.

Biotechnosol, 2013. Biodiversité et fonctionnement d'un TECHNOSOL construit utilisé dans la restauration de friches industrielles. Rapport final ADEME, coordinateur J. Cortet.

Séré G., Schwartz C., Ouvrard Stéphanie, Renat J.C., Watteau F., Villemin G. and Morel J.L., 2010. Early pedogenic evolution of constructed Technosols. *J. Soils Sediments*, 10, 1246-1254.

Valorisation de la MO

**Bio-raffinerie; traitement des résidus organiques par des procédés
biologiques; processus de transformation**

ORAUX

Valorisation de la MO

Conférence introductive Thème Valorisation de la MO

Bioraffineries environnementales : nouvelles technologies et nouveaux enjeux autour de la valorisation de la matière organique résiduaire

Bouchez, Théodore

Irstea, UR HBAN, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, France

A l'heure où l'on tend à introduire davantage de circularité dans tous les secteurs économiques, il est nécessaire de nous interroger sur les modalités de gestion des flux de matière organique résiduaire dans nos sociétés. La Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte et la Stratégie nationale sur la bioéconomie ont entériné le changement de paradigme amorcé il y a plusieurs années déjà : la matière organique résiduaire doit être envisagée comme une ressource. Des évolutions importantes sont en cours à toutes les étapes de la filière : généralisation à l'horizon 2025 de la collecte sélective des biodéchets, nouvelles technologies de transformation et de séparation, réflexion sur des circuits courts de collecte/valorisation. Ainsi, il est plus que jamais nécessaire de mobiliser notre expertise scientifique collective pour éclairer l'évolution les schémas de gestion de la matière organique à l'échelle des territoires. Les différentes contributions reçues sur le thème 5 illustrent les problématiques scientifiques associées à cette réflexion : nécessité de caractériser plus finement la matière organique et sa réactivité pour mieux en comprendre son potentiel en tant que ressource (Rondeau-Mouro *et al.*, Bareha *et al.*, Bayard *et al.*), maîtriser les processus de bioconversion pour élaborer de nouvelles stratégies de valorisation (Digan *et al.*, Físgativa *et al.*), comprendre et gérer les effets de la matière organique résiduaire lors du retour au sol (Barthod *et al.*, Lenhart *et al.*, Leménager *et al.*).

J'illustrerai certaines réflexions en cours dans ce domaine en prenant l'exemple du projet Investissement d'Avenir BIORARE (<https://biorare.irstea.fr/>), dont l'objectif était d'évaluer le potentiel d'une technologie de rupture, basée sur l'électrosynthèse microbienne, pour la production à partir de déchets organiques de molécules plate-forme multi-carbonées pour la chimie verte. L'insertion de cette nouvelle technologie au sein d'une filière de traitement de biodéchets par méthanisation a en particulier été étudiée. Dans ce projet, ont été pris en compte non seulement des critères techniques, mais aussi des critères environnementaux, économiques et réglementaires. Les résultats du projet et les débats ayant eu lieu lors de la journée de restitution soulignent la nécessité de mobiliser des approches multifactorielles et d'intégrer la composante territoriale pour parvenir à trouver des modalités adaptées au développement des futures bioraffineries environnementales.

Références

Bareha, Younes; Girault Romain; Trémier Anne. Caractériser l'accessibilité de la matière organique : application à la prédiction de la minéralisation de l'azote organique en digestion anaérobie. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Barthod, Justine ; Rumpel, Cornelia ; Dignac, Marie-France. Compostage et lombricompostage avec des minéraux : influence sur les émissions de CO₂ pendant le compostage et après apport au sol. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Rémy Bayard, Christine de Brauer, Hassen Benbelkacem, Amr Chamaa. Caractérisation Thermique de la Matière Organique de Déchets Ménagers et Biodéchets. Colloque ResMo 2018. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

L. Digan, S. Dubos, E. Mengelle, P. Horgue, G. Debenest, E. Paul, C. Pagès, E. Trably, H. Roux de Balmann, C. Dumas. Production de molécules plate-forme pour la valorisation de déchets solides : compréhension des processus physiques et biologiques pour l'optimisation de la qualité du mélange d'acides gras. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Fisgativa Henry, Marcihac Cyril, Jaudoin Caroline, Béline Fabrice. Cinétiques de la minéralisation biologique de l'azote pendant la digestion anaérobie. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Diane Leménager, Alexandre Guerif, Jean-Claude Yvin. Optimisation de l'activité microbiologique du sol par l'utilisation de complément de fertilisation. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Lenhart, Tobias; Vidal, Alix; Dignac, Marie-France; Barthod, Justine; Biron, Philippe; Richard, Patricia; Bariac, Thierry; Rumpel, Cornelia. Impact d'amendements organiques sur la biomasse végétale et le transfert de carbone dans le sol. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Corinne Rondeau-Mouroa, Marie Debled a,b, Mireille Camberta, Daumoin Mylèneb, Anne Trémierb. Caractérisation des Produits Résiduels Organiques par Résonance Magnétique Nucléaire. Colloque ResMo 2018, 4-7 février 2018, Trégastel.

Caractérisation thermique de la matière organique de déchets ménagers et biodéchets

Bayard, Rémy; de Brauer, Christine; Benbelkacem, Hassen; Chamaa, Amr

Université de Lyon, INSA Lyon, Laboratoire DEEP, EA7429, F-69621 Villeurbanne cedex, France,
remy.bayard@insa-lyon.fr

Le développement de multiples filières de gestion des déchets potentiellement biodégradables nécessite de disposer d'outils de caractérisation de la matière organique. Qu'ils s'agissent d'une valorisation matière (production d'amendement organique) ou d'une valorisation énergie (production de méthane par voie biologique), de nombreux tests biologiques sont mis en œuvre pour caractériser ces déchets afin d'évaluer leur stabilité ou leur biodégradabilité. Cependant, les protocoles opératoires sont souvent longs et coûteux, et nécessitent le recours à des tests de caractérisation complémentaires visant à déterminer les propriétés physico-chimiques de la matière organique. Depuis une vingtaine d'années, les méthodes d'analyse thermique ont été testées pour vérifier si ces méthodes simples, rapides et peu coûteuses permettraient d'évaluer la bioréactivité de biomasses. Les travaux publiés sont prometteurs mais la plupart ne concernent que la caractérisation de composts, en vue d'estimer leur stabilité.

Nous nous sommes intéressés à la caractérisation de déchets par analyse calorimétrique différentielle couplée à la thermogravimétrie. Le premier objectif a été d'étudier l'effet de traitements biologiques, aérobie et anaérobie, sur des déchets organiques de différentes origines et sur leurs propriétés bio-physico-chimiques : Analyse Globale : Matière Volatile (MV), Demande Chimique en Oxygène (DCO), Carbone Organique Total (COT) et charge organique de la fraction dissoute (COD) ; Analyse de la matière organique : Protéines et lipides, Indice d'Humification (ISH), fractionnement van Soest « Fraction Soluble (SF), Hémicellulose (HEM), Cellulose (CELL), Fraction Résiduelle (RES) » ; Analyse de l'activité biologique : Demande Biologique d'Oxygène en 28 jours (DBO₂₈), Potentiel Biométhanogène (PBM). Une analyse en composantes principales (ACP) a permis de confronter l'ensemble des résultats quantitatifs des analyses thermiques aux données bio-physico-chimiques. Cette analyse a montré de bonnes corrélations des paramètres thermiques avec les paramètres bio-physicochimiques. Ces résultats ouvrent des perspectives sur l'utilisation des méthodes thermiques pour évaluer la stabilité/biodégradabilité de déchets organiques.

Mots-clés : Déchets, Analyse calorimétrique différentielle, Thermogravimétrie, Stabilité, Biodégradabilité, Caractérisation thermique, Caractérisation bio-physicochimique.

Production de molécules plate-forme pour la valorisation de déchets solides : compréhension des processus physiques et biologiques pour l'optimisation de la qualité du mélange d'acides gras

Digan, L. ¹; Dubos, S.¹; Mengelle, E. ¹; Horgue, P.²; Debenes, G. ²; Paul, E. ¹; Pagès, C. ³; Trably, E. ³; Roux de Balmann, H.⁴; Dumas, Claire ¹

1 LISBP, Université de Toulouse, CNRS, INRA, INSA, Toulouse, France

2 INPT, UPS, IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse), Université de Toulouse, Allée Camille Soula, F- 31400 Toulouse, France and CNRS, IMFT, F-31400 Toulouse, France

3 LBE, INRA, Univ Montpellier, 11100, Narbonne, France

4 LGC, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

En raison de l'augmentation de la production de déchets urbains et afin de réduire notre dépendance aux combustibles et aux produits chimiques fossiles, la valorisation des déchets solides ménagers en molécules plate-forme représente une alternative intéressante. La fermentation acidogène par des communautés microbiennes complexes représente un avantage important en raison de la diversité des souches de micro-organismes qui peuvent hydrolyser et digérer la matière complexe en une large gamme de molécules organiques. Les déchets organiques peuvent être transformés en acides organiques (acides gras volatils : AGV) et en plus des AGVs en éthanol, en dihydrogène et en d'autres produits de fermentation tels que le lactate, l'acétone et le succinate. En ciblant les AGVs (ou VFA en anglais), ce concept est appelé la « VFA-platform » qui peut apporter une valeur ajoutée supérieure à celle du méthane. De plus, l'orientation des voies métaboliques à travers les paramètres du procédé et / ou les communautés microbiennes permet de produire un mélange d'AGVs spécifique. Le contrôle du spectre de molécules est un challenge car il influence la qualité du produit et ainsi les performances des étapes ultérieures de la chaîne de production (production de bioplastique par exemple). Il est possible de produire et d'extraire ces AGVs par fermentation solide au sein de réacteurs à percolation. De plus, le milieu de fermentation riche en AGVs peut être purifié et séparé avec un procédé à membrane (par exemple par nanofiltration).

Aussi, cette étude vise à comprendre à la fois l'aspect hydraulique et biologique de la fermentation au sein d'un réacteur de percolation. Pour cela la première partie du sujet consiste à étudier le comportement d'un lit de déchets solides (ordures ménagères reconstituées) dans une colonne de percolation, et la deuxième partie en l'évaluation du rôle de l'inoculation (populations bactériennes acidogènes) à différents pH pour évaluer l'effet sur les voies métaboliques de la fermentation.

Cinétiques de la minéralisation biologique de l'azote pendant la digestion anaérobie

Fisgativa, Henry; Marcilhac, Cyril; Jaudoin, Caroline; Béline, Fabrice

Irstea, 17 avenue de Cucillé, CS 64427, 35044 Rennes cedex, France

La valorisation des nutriments du digestat est un point clé pour la digestion anaérobie notamment face à l'épuisement progressif des engrais minéraux et l'augmentation de leur prix. En effet, de grandes quantités d'engrais minéraux sont toujours épandues tandis qu'ils pourraient être substitués par des nutriments d'origine organique, tel que le digestat [1]. Cependant, la digestion anaérobie modifie la forme de l'azote du substrat. Cette transformation et sa cinétique n'est pas assez connue, ce qui rend difficile la gestion des nutriments pour la fertilisation utilisant du digestat. Par conséquent, nous avons étudié la cinétique de transformation de l'azote et son lien avec la production de méthane.

Les cinétiques de minéralisation de l'azote et de la production de méthane ont été étudiées sur 13 substrats d'origine agro-alimentaire, agricole et urbaine. Des tests de digestion anaérobie en batch ont été réalisés en parallèle dans des réacteurs en verre de 2 litres avec 1 litre de volume de travail pour l'étude de la minéralisation et dans de réacteurs de 1.5 litres avec 1 litre de volume de travail pour l'étude de la production de méthane, ces derniers comme développé par Girault *et al.* (2012) [2]. Après inoculation et ajout du substrat, l'espace de tête des réacteurs a été renouvelé avec un mélange de N₂ et CO₂ (70/30) pour assurer des conditions anaérobies. Les réacteurs ont été placés dans une étuve à 37°C. L'inoculum a été lavé préalablement car sa haute teneur initiale en azote pouvait empêcher l'observation de la variation des concentrations en azote durant la digestion. Les expériences ont été conduites pendant 17 jours. Des échantillonnages du biogaz et du digestat ont été réalisés trois fois par jour au début de l'expérience et une fois par jour à la fin.

Les résultats montrent que la minéralisation de l'azote n'est pas directement liée aux cinétiques de production de méthane. Pour des substrats où des transformations ont été visibles, l'azote a été rapidement transformé (entre 2 et 8 jours) avant stabilisation. Les expériences ont permis d'identifier 3 types des comportements de la minéralisation de l'azote : (a) une minéralisation rapide (transformation de l'azote organique en azote ammoniacal) dans des substrats comme le sang, les boues ou les déchets de cuisine, (b) une immobilisation de l'azote (assimilation de l'azote ammoniacal en azote organique dans la biomasse) dans des substrats comme les fruits, la paille et les graisses, et (c) une transformation limitée (faible modification de l'azote initial ou neutralisation de la minéralisation et de l'immobilisation de l'azote) dans des substrats comme le lisier et le fumier.

Les résultats de cette expérience ont permis de conclure que les cinétiques de minéralisation de l'azote peuvent être clairement observées et qu'elles dépendent principalement du type de substrat utilisé. Des études de modélisation sont en cours pour établir un modèle prédictif du taux de minéralisation et par conséquent la composition finale du digestat par rapport aux cocktails de substrats.

[1] Alburquerque, J.A., et al., Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, 2012. 40: p. 181-189.

[2] Girault, R., et al., A waste characterisation procedure for ADM1 implementation based on degradation kinetics. *Water Research*, 2012. 46(13): p. 4099-4110.

Impact d'amendements organiques sur la biomasse végétale et le transfert de carbone dans le sol

Lenhart, Tobias¹; Vidal, Alix¹; Dignac, Marie-France³; Barthod, Justine²; Biron, Philippe²; Richard, Patricia²; Bariac, Thierry²; Rumpel, Cornelia²

1 *Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, Emil-Ramann-Strasse 2, 85356 Freising, alix.vidal@wzw.tum.de*

2 *UMR iEES-Paris, Institut d'Ecologie et de Sciences de l'Environnement de Paris, 4 place Jussieu, 75005 Paris, cornelia.rumpel@inra.fr*

3 *UMR Ecosys, 78850 Thiverval-Grignon, marie-france.dignac@inra.fr*

L'explosion démographique, couplée à l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère requièrent le développement de systèmes agricoles productifs et écologiquement durables. L'utilisation d'amendements organiques est envisagée pour augmenter la fertilité et le stock de carbone dans les sols (Ngo et al., 2012). Cependant, la production de certains amendements, comme le compost et le vermicompost, génère également de larges quantités de gaz à effet de serre. L'utilisation d'additifs, comme les argiles, permet de réduire les émissions de CO₂ lors du compostage de plus de 40 % (Barthod et al., 2016). Toutefois, peu d'études ont évalué l'impact de ces additifs sur la croissance des plantes et le cycle du carbone dans les sols.

Nous étudions l'impact de différents amendements organiques sur la biomasse végétale et le transfert du carbone dans le sol. Plusieurs amendements ont été produits à partir de déchets organiques identiques, avec et sans minéral (30% de montmorillonite) par compostage et vermicompostage. Quatre amendements ont été testés : un compost, un vermicompost, un compost avec 30% de montmorillonite et un vermicompost avec 30% de montmorillonite. L'effet des différents amendements sur la biomasse de haricots verts et de ray-grass a été évalué. Le transfert de carbone depuis les parties aériennes de la plante, vers les racines et le sol est suivi grâce à un marquage en continue des plantes sous atmosphère enrichie en ¹³CO₂ du stade plantules au stade maturation. Après 6 semaines, nous avons déterminé la production de biomasses aériennes et souterraines et le carbone injecté dans le sol par les plantes. Nos résultats montrent que l'ajout des amendements impacte les biomasses aériennes et souterraines selon la plante utilisée, ainsi que la quantité de C d'origine végétale dans les sols. L'ajout de vermicompost avec 30% de montmorillonite dans le sol augmente la biomasse aérienne et racinaire des deux types de plante, par rapport aux autres traitements. L'ajout de montmorillonite modifie la structure du sol, la rétention des nutriments et la teneur en carbone et azote dans le sol.

Barthod, J., Rumpel, C., Paradelo, R., Dignac, M.-F., 2016. Is it efficient to co-compost and co-vermicompost green waste with biochar and/or clay to reduce CO₂ emissions? A short-term laboratory experiment on (vermi)composts with additives, p. 11920.

Ngo, P.-T., Rumpel, C., Doan, T.-T., Jouquet, P., 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biology and Biochemistry* 50, 214-220.

POSTERS

Valorisation de la MO

P-18. Caractériser l'accessibilité de la matière organique : application à la prédiction de la minéralisation de l'azote organique en digestion anaérobie

Bareha, Younes^{1,2,3}; Girault, Romain^{1,3}; Trémier, Anne^{1,3}

1 Irstea, UR OPAALE, 17 av. de Cucillé, CS 64427, F-35044 Rennes, France

2 Université Rennes 1, 2 rue du Thabor, CS 46510, 35065 Rennes Cedex, France

3 Université Bretagne Loire, France

Ces dernières années, le procédé de méthanisation (ou digestion anaérobie) a gagné en intérêt pour la valorisation de la matière organique (MO) des déchets. Ce procédé permet la conversion d'une partie de la MO en un biogaz valorisable en électricité et chaleur. La partie non dégradée, appelée digestat, est riche en azote minéral et présente un fort intérêt agronomique (fertilisant et amendant). La prédiction de la biodégradabilité de la matière organique au sein de ce procédé est cependant cruciale tant pour estimer la production de biogaz que les propriétés du digestat. Pour ce faire, la caractérisation de la MO permet de fournir des indicateurs sur la biodégradabilité de cette dernière, qui est fortement liée à son accessibilité. En effet, l'accessibilité représente la capacité pour un microorganisme, ou ses exo-enzymes, à atteindre une molécule cible au sein du substrat. Deux protocoles basés sur des extractions chimiques séquentielles sont communément utilisés pour caractériser cette accessibilité au travers de la détermination de plusieurs compartiments plus ou moins accessibles :

- La méthode EPS (Jimenez et al., 2015) qui considère une accessibilité biochimique limitée par la structure physique de la MO.
- La méthode Van Soest (Van Soest, 1963) qui ne considère que l'accessibilité biochimique non limitée par la structure physique de la MO.

L'utilisation de ces méthodes de caractérisation a déjà montré des possibilités de corrélations entre les indicateurs d'accessibilité qui en sont issus et la biodégradabilité de la matière organique durant la digestion anaérobie (Liu et al., 2015 ; Jimenez et al., 2015). L'objectif de cette étude était d'identifier dans quelle mesure ces indicateurs d'accessibilité pouvait être utilisés pour prédire la biodégradabilité de la matière organique azotée en digestion anaérobie et donc les propriétés azotées du digestat (azote minéral/azote organique).

Pour ce faire, l'azote organique d'un large panel de substrats a été caractérisé en terme d'accessibilité selon les méthodes EPS et Van Soest. Le lien entre l'accessibilité de l'azote organique et sa biodégradabilité a été déterminé à l'aide de tests statistiques débouchant sur des modèles de prédiction de la minéralisation de l'azote organique en digestion.

Les résultats sur la distribution de l'azote organique dans les compartiments déterminés par méthodes Van Soest et EPS montrent que quel que soit le substrat et la méthode utilisée, l'azote organique est présent partout. Cependant, la répartition est différente selon les deux méthodes avec une grande partie de l'azote organique présente dans le compartiment non accessible en utilisant le protocole EPS tandis que l'azote organique est majoritairement présent dans les compartiments accessibles avec le protocole Van Soest. Les tests statistiques ont permis de lier les teneurs en azote organique de ces compartiments de la MO et la biodégradabilité de l'azote organique ainsi que l'obtention de modèles statistiques robustes et prédictifs en utilisant les teneurs en azote des compartiments issus de la méthode EPS.

Cette étude a permis de mettre en avant l'importance du développement de méthodes permettant de caractériser l'accessibilité de la MO, qui est le principal facteur limitant sa biodégradabilité en digestion anaérobie.

Jimenez, J., Aemig, Q., Doussiet, N., Steyer, J.-P., Houot, S., Patureau, D., 2015. A new organic matter fractionation methodology for organic wastes: Bioaccessibility and complexity characterization for treatment optimization. *Bioresour. Technol.* 194, 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.037>

Liu, X., Bayard, R., Benbelkacem, H., Buffière, P., Gourdon, R., 2015. Evaluation of the correlations between biodegradability of lignocellulosic feedstocks in anaerobic digestion process and their biochemical characteristics. *Biomass Bioenergy* 81, 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.021>

Van Soest, P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 1. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.* 46, 825–829.

P-19. Optimisation de l'activité microbiologique du sol par l'utilisation de complément de fertilisation

Leménager, Diane¹; Guerif, Alexandre²; Yvin, Jean-Claude¹

1 Centre mondial de l'Innovation, Groupe Roullier, 18 avenue Franklin Roosevelt 35400 Saint Malo

2 Institut Universitaire de Technologie Département de chimie Bâtiment C12, 14 allée Jean Monnet TSA 41114, 86073 Poitiers cedex

Les matières organiques du sol MOS influencent de nombreuses fonctions du sol et occupent une position centrale dans le système globale du carbone. A l'échelle, de l'agroécosystème, la productivité primaire est sous la dépendance du recyclage des MOS par l'action des organismes décomposeurs (essentiellement les bactéries et les champignons), qui minéralisent les composés organiques. L'énergie provenant de la dégradation de la MO et de l'oxydation de divers composés va permettre à la microflore du sol de réaliser diverses activités de synthèses ou de dégradation. Il existe sans doute au niveau du sol des milliers, voire des millions d'activités microbiennes sensu stricto. Nous avons donc sélectionné parmi les techniques d'études de ces activités, celles qui nous permettaient de recueillir une information globale sur l'état du milieu. L'activité Fluorescéine Di-Acétate (FDA) est utilisée comme un colorant vital des champignons, bactéries et protistes depuis de nombreuses années (Schnürer J. and T. Roswall - 1982). Le colorant est transporté à l'intérieur des cellules vivantes où il subit une hydrolyse par un très large spectre d'enzymes (acétyl-estérases, estérases, lipases, protéases).

Les résultats de l'activité FDA 2 semaines après application du complément de fertilisation Humiplus ont montré **une augmentation de 40%** de cette activité. Cet effet perdure jusqu'à la 3 semaine après traitement. **Les compléments de fertilisation agissent de façon à stimuler l'activité biologique du sol pour valoriser son potentiel fertilisant.** Ils favorisent une activité microbiologique optimale par un apport de substrats énergétique sur une base calcaire qui permet de maintenir le bon équilibre physico-chimique des sols.

Ce complément de fertilisation amorce la transformation de la matière organique exogène dont les catabolites activent la croissance de populations impliquées dans la transformation de la matière organique endogène « priming effect ». La caractérisation des communautés microbiennes par des outils moléculaires permettra de relier les modifications d'activité à la réponse des communautés microbiennes.

Schnürer J. and T. Roswall - 1982 - Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter - Appl. Env. Microb. - 43: 1256-1261

Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition ? Soil Biol Biochem 35,837-843.

P-20. Caractérisation des produits résiduaux organiques par Résonance

Magnétique Nucléaire

Rondeau-Mouro, Corinne¹; Debled, Marie^{1,2}; Cambert, Mireille¹; Daumoin, Mylène²; Trémier, Anne²

1 UR OPAALE, équipe IRMFood, IRSTEA Rennes

2 UR OPAALE, équipe SAFIR, IRSTEA Rennes

L'accessibilité et la biodégradabilité de la matière organique (MO) issue des déchets ménagers ou d'effluents agricoles, sont des paramètres que l'on peut caractériser via la mesure de la solubilité et de la taille des molécules constitutives de la MO. Ces mesures se font classiquement par des analyses chromatographiques et biochimiques après un fractionnement de la MO par extractions successives. Comme alternative à ces méthodes, la Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) à bas champ peut être utilisée pour caractériser la taille des molécules constituant la MO via des mesures de temps de relaxation (T_1 , T_2) et de diffusion moléculaire (D)^{1,2}. Ces paramètres de RMN dépendent de la viscosité des milieux et de la taille des molécules étudiées. Les mesures de RMN ont été réalisées sur 10 extraits aqueux de déchets ou résidus organiques (biodéchets urbains, phacélie, aliment pour chevaux, ensilage, féverole) à différents degrés de biodégradation aérobie ou anaérobie (digestats). Par ailleurs, la biodégradation des substrats organiques solides, par exemple en digestion anaérobie par voie sèche, est conditionnée par l'apport d'un inoculum dans la matrice solide. Une deuxième méthode de RMN a ainsi été utilisée pour suivre l'imprégnation d'un digestat dans des brins de pailles. Il s'agit d'une méthode de mesure de surface non destructive et non invasive appelée MOUSE (Mobile Universal Surface Explorer)³. Grâce à son faible poids et sa portabilité, ce spectromètre de RMN peut être installé au plus près des objets à étudier et offre la possibilité de mesurer des profils d'imprégnation d'un liquide dans une matrice plus ou moins poreuse. Les premiers travaux ont consisté à mesurer l'ampleur et la cinétique de l'imprégnation de deux substrats solides : de la paille hachée finement et des tiges de pailles non coupée imprégnées par du digestat brut (non centrifugé) ou centrifugé (pour éliminer les particules solides en suspension). Les premiers résultats sont prometteurs quant au potentiel de ces méthodes pour aider à la compréhension et l'optimisation de la biodégradation de produits résiduaux organiques.

Ces travaux ont été effectués dans le cadre du projet C-PRORMN financé à travers le dispositif CAPTIVEN (capteurs et données pour la qualité environnementale des eaux et des sols) du PIA de l'ANR 2011-2016.

- 1- Kovrlija, R. and Rondeau-Mouro, C.; "Multi-scale NMR and MRI approaches to characterize starchy products", *Food Chem.* Vol. 236, 2–14, 2017.
- 2- Duval, F.P. ; Quéllec, S. ; Trémier, A. ; Druihle, C. ; Mariette, F ; "Non-destructive quantification of water gradient in sludge composting with Magnetic Resonance Imaging", *Waste Management*, Vol. 30, 610-619, 2010
- 3- Blumich, B; Anferov, V; Anferova, S; et al.; "An NMR-MOUSE (R) for analysis of thin objects", *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 288, 312-317, 2003

MO et mécanismes de stockage

La MO et le stockage de C dans les sols

Mécanismes de stabilisation physique, chimique ; estimation des stocks (en lien avec CarboSMS)

ORAUX

MO et mécanismes de stockage

Conférence introductive Thème MO et mécanismes de stockage

Mécanismes de contrôle des stocks de carbone dans les sols : quelles questions de recherche pour le « 4 pour 1000 » ?

Basile-Doelsch, Isabelle¹; Barré, Pierre²; Derrien, Delphine³; Dignac, Marie-France⁴; Balesdent, Jérôme¹

1 Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Coll France, INRA, CEREGE, F-13545 Aix-en-Provence, France

2 Laboratoire de Géologie de l'ENS, PSL Research University, UMR8538 du CNRS, 24 rue Lhomond, 75231 Paris cedex 05, France

3 Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, INRA, 54280 Champenoux, France

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

L'initiative internationale « 4 pour 1000 » vise à accroître la teneur en matière organique et la séquestration de carbone dans les sols. Elle a l'ambition de fédérer ses partenaires et de les inciter à mettre en œuvre des actions concrètes. Depuis son lancement il y a deux ans, plus de 280 organisations ont apporté leur soutien à cette initiative dont la gouvernance et la feuille de route commencent à se dessiner.

Les questions scientifiques en amont de ces actions concrètes portent sur les mécanismes qui contrôlent les stocks de carbone dans les sols [1, 2]. Il s'agit d'abord des mécanismes qui contrôlent les entrées de C (par les litières et les exsudats racinaires) et les sorties de C (par minéralisation ou érosion). Mais les mécanismes qui contrôlent les transferts du C dans les sols (bioturbation, transport particulaire, colloïdal ou dissous) ainsi que les mécanismes qui stabilisent les MO (protection physique ou interactions organo-minérales) peuvent aussi avoir un effet déterminant sur la durée de stockage du C et favoriser la séquestration à moyen ou long terme. La compréhension fine de ces mécanismes, de leurs interactions, ainsi que leur prise en compte intégrée dans les modèles de C des sols (numériques et/ou conceptuels [3]) restent des objectifs complexes de recherche.

Ajouté aux paramètres climatiques et pédologiques, le paramètre « temps » est aussi un paramètre déterminant à prendre en compte dans les effets conjugués des mécanismes [4]. Des travaux récents apportent un nouvel éclairage sur la dynamique du C à l'échelle des profils de sol (Projet ANR Dedycas) [5]. La distribution des âges des MO des sols (déduite d'une méta-analyse de changements C3/C4 à l'échelle globale) montre que, alors que la couche 0.3-1.0 m représente en moyenne 47% de la MO, elle ne représente que 19% du C qui a effectivement échangé avec l'atmosphère au cours des 50 dernières années. Dans les systèmes analysés (prairies, forêts et culture), la profondeur médiane de l'incorporation récente de C dans le sol minéral est peu profonde (10 cm). Ce résultat à l'échelle globale ne doit pas cependant masquer la grande variabilité des réponses des sols suite à des changements d'usages ou de pratiques. Dans le détail, les profils de redistribution du C (perte ou gain) restent fortement dépendants des conditions pédoclimatiques. Un enjeu fort pour la recherche à venir est de déterminer quel(s) mécanisme(s) sont déterminants dans les différents contextes.

L'ensemble des questions autour des mécanismes qui contrôlent les stocks de C dans les sols a fédéré une centaine de chercheurs et acteurs au sein d'un nouveau collectif (CarboSMS) qui s'est structuré en écho au lancement de l'initiative 4 pour 1000. Ce collectif est à l'initiative du thème 1 du colloque « *La MO et le stockage de C dans les sols – Mécanismes de stabilisation physique, chimique; estimation des stocks* » ainsi que l'atelier « 4 pour 1000 ». Dans cet atelier, des questions de réflexion telles que, par exemple, (1) *Comment estimer le potentiel de stockage d'un sol?*; (2) *Augmenter de 4 pour 1000 les stocks en surface des sols cultivés, peut-être, mais que va-t-il se passer ailleurs?*; (3) *Stocker du C dans les sols, pourquoi pas, mais pour combien de temps?*; ou (4) *Comment augmenter efficacement les stocks de C dans les sols?* seront proposées.

1. Dignac, M.-F., et al., Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2017. 37(14).
2. Derrien, D., et al., Stocker du C dans les sols: Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs? *Etude et Gestion des Sols*, 2016. 23: p. 193–223.
3. Basile-Doelsch, I., J. Balesdent, and J. Rose, Are Interactions between Organic Compounds and Nanoscale Weathering Minerals the Key Drivers of Carbon Storage in Soils? *Environmental Science & Technology*, 2015. 49(7): p. 3997-3998.
4. Mathieu, J., et al., Deep soil carbon dynamics are driven more by soil type than by climate: a worldwide meta-analysis of radiocarbon profiles. *Global Change Biology*, 2015. 21(11).
5. Balesdent, J., et al., Renouvellement du carbone profond des sols cultivés : une estimation par compilation de données isotopiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 2017. 21.

Racines et rhizodéposition à l'origine de la matière organique des sols

Abiven, Samuel; Studer, Mirjam; Friedli, Cordula; Hirte, Juliane

Université de Zurich, Suisse

Les racines et leur rhizodéposition représentent des quantités importantes du carbone issues de la photosynthèse, et sans doute la majorité de la matière organique des sols. Cette proportion est particulièrement difficile à estimer de par l'accessibilité de ce carbone dans les sols. Une méthode consiste à marquer au carbone 13 les plantes, et de suivre ce signal dans le sol.

Cette communication présentera une série de récents travaux où nous avons testé différents paramètres pouvant modifier la quantité de carbone racinaire des plantes et leur persistance dans les sols : les pratiques agricoles, les types de plantes, les conditions climatiques, le CO₂ atmosphérique, entre autres. Ces études ont suivi une approche similaire : croissance de la plante sous une atmosphère de carbone marqué et suivi de sa décomposition dans le sol au champ. Nous utilisons l'écotron MICE (Multi-isotopes in a Controlled Environment) pour simuler ces différentes conditions (Studer et al., 2016a). Ces différentes études ont pu montrer une quantité particulièrement importante de rhizodéposition par rapport à la quantité de racines (plus de 80% en moyenne, Friedli et al., sub.), des quantités de carbone racinaires déconnectées de la biomasse aérienne (Keel et al., 2017), Hirte et al., in prep.) et des priming effects pouvant potentiellement être très importants (+ 400% du CO₂ émis par le sol sur de courtes périodes (Studer et al., 2016b)).

Références

- Keel, S. G., Hirte, J., Abiven, S., Wüst-Galley, C., and Leifeld, J. (2017). Proper estimate of residue input as condition for understanding drivers of soil carbon dynamics. *Glob. Chang. Biol.* 23, 1–2. doi:10.1111/ijlh.12426.
- Studer, M. S., Künzli, R., Maier, R., Schmidt, M. W. I., Siegwolf, R. T. W., Woodhatch, I., et al. (2016a). The MICE facility--a new tool to study plant--soil C cycling with a holistic approach. *Isotopes Environ. Health Stud.*, 1–12.
- Studer, M. S., Siegwolf, R. T. W., and Abiven, S. (2016b). Evidence for direct plant control on rhizosphere priming. *Rhizosphere* 2, 1–4.

Estimation du stock de carbone organique et des facteurs influençant sa répartition dans les sols urbains ouverts de Paris et New York

Cambou, Aurélie^{1,2}; Huot, Hermine³; Shaw, Richard K.⁴; Schwartz, Christophe²; Cannavo, Patrice¹; Hunault, Gilles⁵; Vidal-Beaudet, Laure¹

1 *Agrocampus Ouest, 49045 Angers, France*

2 *Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine, UMR INRA 1120, 2, avenue de la forêt de Haye, BP 20163, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France*

3 *School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, People's Republic of China*

4 *United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Somerset, New Jersey, 08873, USA*

5 *Laboratoire HIFIH, UPRES EA 3859, SFR 4208, Université d'Angers, Institut de Biologie en Santé PBH-IRIS CHU, 4, Rue Larrey 49933 Angers Cedex*

Les sols représentent le plus gros réservoir continental de carbone organique (C_{org}), mais ils peuvent se comporter comme un puits ou une source de CO_2 atmosphérique. Afin de limiter le phénomène de réchauffement climatique, le maintien du C_{org} dans les sols est un enjeu important. De plus, le C_{org} du sol est un paramètre clé de la fertilité physique, chimique et biologique des sols, supports de la production végétale. Actuellement, à l'échelle mondiale, les sols artificialisés représentent environ 3 % du territoire et, dans certains pays industrialisés, les zones urbaines constituent jusqu'à 10 % des surfaces totales. Dans ces espaces urbains, l'aménagement des espaces végétalisés ne cesse de s'accroître, lié à une forte demande sociale, et la contribution des sols urbains dans la séquestration du carbone ne peut être négligée. Or, l'absence de méthodes standardisées permettant le suivi de C_{org} dans les sols urbains et leur très forte hétérogénéité constituent un obstacle à l'estimation de leurs teneurs et stocks de C_{org} (respectivement notés SOC et SSOC).

L'hypothèse de cette étude est la suivante : SOC et SSOC dans les sols urbains, ainsi que les facteurs influençant leur distribution, sont à la fois influencés par les caractéristiques de la ville étudiée, et par les méthodes de suivi adoptées. SOC et SSOC ont été comparés entre deux villes, New York et Paris qui présentent des conditions pédoclimatiques, une histoire et un mode de gestion des usages différents. Une base de données a été construite à partir des données de C_{org} mesurées pendant plusieurs années sur 0-30 cm de profondeur (soit un total de 529 échantillons). A New York, les échantillons (58 échantillons) ont été collectés suivant une méthode pédologique standardisée ; la masse volumique apparente M_v a été mesurée et SSOC a pu être calculé. A Paris, les données ont été collectées par différentes méthodes d'échantillonnage (471 échantillons) ; SOC était connue, mais SSOC a été estimé (M_v étant inconnue). Les SOC et SSOC ont été comparés entre les deux villes en lien avec différents facteurs : le type d'usage, le type de couvert, le mode de gestion, le matériau parent, ainsi que différents paramètres physico-chimiques des sols (e.g., concentration en azote, carbonates, granulométrie).

Les deux villes présentent des SOC significativement différentes : la valeur moyenne de SOC atteint $28,3 \pm 19,6 \text{ gC.kg}^{-1}$ à Paris et $63,3 \pm 101 \text{ gC.kg}^{-1}$ à New York. En revanche, les calculs de SSOC entre les deux villes sont similaires avec une moyenne de $8,89 \pm 4,29 \text{ kgC.m}^{-2}$ à Paris et de $13,0 \pm 20,1 \text{ kgC.m}^{-2}$ à New York. Les facteurs influençant SSOC sont néanmoins différents : à Paris, le type d'usage et le couvert influencent principalement SSOC ; au contraire à New York, ce sont principalement les propriétés intrinsèques du sol qui montrent un effet. Enfin, le choix d'une méthodologie standardisée de suivi de SSOC dans les sols urbains est discuté.

Prendre en compte la dynamique du carbone inorganique des sols dans les bilans carbone

Chevallier, Tiphaine¹; Cardinael, Rémi²; Cournac, L³; Girardin, Cyril⁴; Cozzi, T⁵; Chenu, Claire⁵

1 IRD, UMR Eco&Sols, Montpellier, France

2 Cirad, UR AIDA, Harare, Zimbabwe

3 IRD, UMR Eco&Sols, Dakar, Sénégal

4 Inra, UMR Ecosys, Grignon FRANCE

5 AgroParisTech, UMR Ecosys, Grignon FRANCE

Le sol est le plus grand réservoir de carbone (C) continental et participe au cycle global du C. Il émet à la fois du gaz carbonique (CO₂), via la respiration des racines et des microorganismes hétérotrophes, et piège du CO₂ atmosphérique, via la photosynthèse et l'incorporation au sol des produits de décomposition des litières, sous forme d'un stock de matières organiques composé à 50% de C. La compréhension de la dynamique du C organique des sols (Soil organic carbon, **SOC**) est un enjeu majeur à la fois pour la fertilité des sols et pour l'atténuation du changement climatique, à travers le stockage plus ou moins long de C dans les sols. Le C présent dans les sols n'est pas seulement sous forme organique. Globalement, un tiers du C total des sols est inorganique (Soil inorganic carbon, **SIC**) (Batjes, 1996).

Les dynamiques du SOC sont plus étudiées que celles du SIC car les pools de SOC i) sont considérés plus dynamiques à court terme et davantage impactés par les activités humaines que les pools de SIC (Lal, 2004), et ii) sont en relation directe avec les flux de minéralisation de N (azote) et P (phosphore) et donc la fertilité des sols. De plus, les difficultés analytiques pour différencier les teneurs en SOC des teneurs en SIC ont souvent découragé les études de la dynamique des matières organiques des sols carbonatés.

Cependant les sols carbonatés représentent 30% des sols de la planète et sont principalement localisés dans les régions arides et semi arides. Il y a de plus quelques études montrant que les équilibres entre les différentes formes du SIC, solides, solubles ou gazeuses, peuvent être modifiés par des facteurs tels que les pratiques agricoles (notamment travail du sol, irrigation) ou des facteurs environnementaux tels que la température, la pression partielle en CO₂ ou la fréquence des événements pluvieux. Ces modifications d'équilibre peuvent impacter la teneur globale des SIC et les émissions de CO₂ du sol vers l'atmosphère (Serrano-Ortiz et al. 2010 ; Chevallier et al. 2016).

Les exemples proposés sont issus d'expérimentations en laboratoire sur des sols méditerranéens. Les mesures d'émissions de CO₂ de ces sols carbonatés montrent que même à court terme, les dynamiques de différentes formes du SOC et du SIC ne sont pas indépendantes et sont susceptibles d'être modifiées par des changements de température ou de gestion des sols. Ces études confirment l'importance d'étudier la contribution du pool de carbone inorganique dans les études de dynamique du SOC.

Batjes, NH. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 151-163.

Chevallier, T., L. Cournac, S. Hamdi, T. Gallali and M. Bernoux. 2016. Temperature dependence of CO₂ emissions rates and isotopic signature from a calcareous soil. *Journal of Arid Environments* 135: 132-139.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123, 1-22.

Serrano-Ortiz, P., M. Roland, S. Sanchez-Moral, I.A. Janssens, F. Domingo, Y. Goddérès and A.S. Kowalski. 2010. Hidden, abiotic CO₂ flows and gaseous reservoirs in the terrestrial carbon cycle: Review and perspectives. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 321-329.

La matière organique des sols à l'échelle du paysage : résilience des agroécosystèmes aux changements d'usage. Le projet MOSAIC, étude d'un bassin versant rurale en Bretagne

Panettieri, Marco¹; Guigue, Julien¹; Mathieu, Olivier¹; Thevenot, Mathieu¹; Le Guillou, Cédric²; Nowak, Virginie² Tripied, Julie²; Faivre-Primot, Céline²; Lelievre, Mélanie²; Samuel Dequiedt²; Horrigue, Walid²; Anne-Lise Santoni¹; Amiotte-Suchet, Philippe¹; Chemidlin, Nicolas²; Maron, Pierre-Alain²; Ranjard, Lionel²; Leveque, Jean¹; Viaud, Valérie³

1 Univ. Bourgogne Franche-Comté, CNRS, Biogéosciences, F-21000 Dijon, France

2 INRA, UMR 1347 Agroécologie, F-21065 Dijon, France

3 INRA, UMR 1069 SAS, F-35042 Rennes, France

Une gestion durable des sols vise à garantir une adéquation entre production agricole, élevage et maintien des services écosystémiques. Parmi ces services, le stockage de carbone sous forme de matière organique des sols (MOS) est un élément essentiel. La compréhension de la dynamique des MOS reste cependant incomplète. Un effort supplémentaire est en particulier nécessaire pour élucider l'influence des facteurs biotiques (interactions sol-plante, activité microbienne) et abiotiques (minéralogie, conditions climatiques, teneur en eau) sur cette dynamique. Si les politiques de gestion des terres sont principalement basées sur l'évaluation des agro-écosystèmes à l'échelle du paysage, l'importante variabilité des propriétés des sols et des processus qui les contrôlent, et notamment la dynamique des MOS, impose de réaliser des études multi-échelles. De plus, les MOS ne peuvent plus être définies simplement sur la base de mesures quantitatives, mais une caractérisation des paramètres qualitatifs et une évaluation des flux sont nécessaires pour affiner les modèles de prédiction et pour choisir un plan d'occupation des sols cohérent dans un contexte de changement climatique.

Pour faire face à ces problématiques, en 2012 le projet ANR MOSAIC a été mis en place pour évaluer la dynamique d'un bassin versant agricole, le bassin du Naizin, en Bretagne. La zone étudiée présente une variabilité édaphologique et regroupe différents usages des sols : des cultures (CP), des prairies permanentes (PP), des rotations cultures/prairies (RO) et des espaces boisés, en friches et des zones humides (AU). L'objectif du travail a été de déterminer à une échelle moléculaire la relation entre usages des sols et stocks de MOS sur la base de 100 échantillons représentatifs de l'ensemble des usages. Une caractérisation physico-chimique des sols a été effectuée, avec en particulier la détermination de la quantité et de la qualité du carbone extractible à l'eau (WEOM), via des analyses élémentaires, isotopiques (C et N) et par fluorescence 3D. Parallèlement, une incubation pour mesurer les émissions de CO₂, N₂O et le « priming effect » en comparant une série d'échantillons non-amendés (contrôles) et amendés.

Les différences de teneurs en C et N entre les traitements CP, PP et RO sont faibles, avec une grande variabilité entre les sols échantillonnés au sein d'un même usage. Les teneurs en WEOM des sols de CP sont plus faibles par rapport aux sols de PP, mais présentent une fluorescence plus élevée. De plus, les flux de CO₂ et N₂O sont plus faibles pour les sols de CP. Les sols en rotation culture-prairie (RO) ne montrent pas différences significatives des caractéristiques des MOS (C, N, WEOM, fluorescence...) par rapport aux sols de CP, si la durée de mise en prairie est inférieure à 50% du temps. Au-delà, une évolution des caractéristiques de CP vers PP est observée. Des analyses complémentaires sont en cours pour définir la stabilité globale des MOS stockées selon les différentes catégories d'usage. Ces résultats pourront aider à mieux planifier les rotations culturales pour préserver à long terme les services écosystémiques des agrosystèmes.

Stockage de carbone dans les Technosols construits

Rees, Frédéric¹; Dagois, Robin¹; Derrien, Delphine²; Fiorelli, Jean-Louis³; Watteau, Françoise^{1,4}; Morel, Jean Louis¹; Schwartz, Christophe¹; Simonnot, Marie-Odile⁵; Séré, Geoffroy¹

- 1 *Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine / INRA, BP 172, F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France*
- 2 *Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, INRA, F-54280 Champenoux, France*
- 3 *SAD-ASTER, INRA, F-88500 Mirecourt, France*
- 4 *CNRS, UMS 3562, Vandœuvre-lès-Nancy, France*
- 5 *Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, Université de Lorraine / CNRS, F-54001 Nancy, France.*

Grâce au génie pédologique, les sols délaissés pourraient contribuer à la lutte contre les dérèglements climatiques mondiaux en stockant de grande quantité de carbone. Cependant, l'évolution du stock de C dans ce type de sols nouvellement créés reste peu étudiée. Ce travail a eu pour objectif d'évaluer la dynamique des matières organiques dans les Technosols construits, en s'appuyant sur deux sites expérimentaux en Lorraine dans lesquels des Technosols sous prairie ont été construits à quatre ans d'écart à partir de terre industrielle décontaminée par traitement thermique, de sous-produits papetiers et de composts de déchets verts. A partir de la caractérisation d'échantillons de sols collectés pendant 12 ans, les stocks de de C ont été calculés en tenant compte des phénomènes de compaction propres à ce type de sols. L'évolution des stocks de C a ensuite été comparée à celle de sols naturels sous prairie permanente, ainsi qu'à celle d'autres Technosols décrits dans la littérature. Des simulations à court et long termes ont également été réalisées grâce au modèle RothC (Coleman et Jenkinson, 1996). Le calcul des stocks de C organique dans les deux Technosols étudiés indique que ceux-ci étaient environ 50% et 500% supérieurs aux stocks de C organique de sols naturels sous prairie à une profondeur de 30 cm et 100 cm, respectivement. A l'inverse des sols naturels, une évolution rapide des stocks en deux phases contrastées a été observée. Les stocks de C organique calculés sur les 30 premiers cm ont en effet diminué pendant les trois premières années (-12 à $-22 \text{ t}_c \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) mais ont ensuite progressivement réaugmenté ($+3 \text{ t}_c \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$), vraisemblablement grâce aux apports de matières organiques liée à la production végétale. Cette évolution en deux phases, similaire à celle d'autres Technosols décrits dans la littérature, a pu être simulée par le modèle RothC mais avec une cinétique beaucoup plus lente qu'observée expérimentalement. Ce décalage pourrait être dû à la difficulté de paramétrisation initiale des différents types de matières organiques introduites dans le Technosol, à la non-prise en compte de l'évolution de la dynamique des matières organiques avec la profondeur et à la sous-estimation des apports de C par les plantes dans ce type de sols. L'étude des Technosols pourrait ainsi servir à améliorer les modèles actuels d'évolution du carbone des sols. Au plan pratique, ces travaux montrent que les Technosols construits peuvent servir à stocker d'importantes quantités de matières organiques s'ils restent plantés.

Coleman, K. et Jenkinson, D.S. (1996) RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil. Evaluation of Soil Organic Matter Models NATO ASI Series. (éd D.S. Powlson),, P. Smith), & J.U. Smith), p. 237-246. Springer Berlin Heidelberg.

Estimation des fractions labiles du COS par test de respiration, fractionnement granulo-densimétrique et analyse thermique – une comparaison de méthodes

Soucémariadin, Laure¹; Cécillon, Lauric²; Chenu, Claire³; Baudin, François⁴; Nicolas, Manuel⁵; Savignac, Florence⁴; Girardin, Cyril³; Barré, Pierre¹

1 CNRS-ENS, Laboratoire de Géologie, Paris, France (souce@geologie.ens.fr),

2 Université Grenoble Alpes, IRSTEA, St-Martin-d'Hères, France,

3 AgroParisTech-INRA, UMR ECOSYS, Thiverval-Grignon, France,

4 Université Pierre et Marie Curie, ISTEP, Paris, France,

5 Office National des Forêts, R&D, Fontainebleau, France

Les sols constituent le plus large réservoir de carbone continental et stockent 3 à 4 fois plus de carbone que l'atmosphère. Cependant, malgré leur importance majeure dans la régulation du climat, les dynamiques des matières organiques du sol (MOS) restent insuffisamment comprises. Ainsi, il n'existe toujours pas de méthode standard pour l'estimation de la labilité des MOS.

Les tests de respiration et la quantification des matières organiques particulaires (MOP) obtenues grâce à divers protocoles de fractionnement sont utilisés depuis des décennies et considérés comme des indicateurs « classiques » du carbone organique du sol (COS) respectivement très labile et labile. Mais la pertinence de ces méthodes pour caractériser le taux de renouvellement des MOS peut être mise en doute. Par ailleurs elles nécessitent beaucoup de temps et ne sont pas forcément reproductibles. Des solutions alternatives pour déterminer le COS labile sont donc indispensables. Les analyses thermiques ont été utilisées pour caractériser les MOS et parmi elles, l'analyse Rock-Eval 6 (RE6) a montré des résultats prometteurs pour la détermination de la stabilité biogéochimique des MOS (Gregorich et al., 2015; Barré et al., 2016).

Utilisant un large jeu d'échantillons ($n = 99-242$) de sols de forêts françaises représentant des conditions pédoclimatiques contrastées et des horizons profonds (jusqu'à 1 m), nous avons comparé trois techniques estimant la labilité du COS et déterminé si le C-respiré ($\text{mg CO}_2\text{-C-g}^{-1}\text{ COS}$) lors d'une incubation au laboratoire de 10 semaines, le MOP-C (% COS total) isolé par un fractionnement granulo-densimétrique du COS (taille particule $> 50 \mu\text{m}$ and $d < 1,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) et des paramètres RE6 donnent des informations comparables.

Les résultats RE6 sont cohérents avec ceux du fractionnement et de l'incubation : le COS avec un taux de respiration plus élevé et plus de MOP-C brûle à des températures plus basses. Tous les indicateurs de COS labile décroissent fortement avec la profondeur. Les paramètres RE6 montrent également que le COS des couches profondes est thermiquement moins labile, moins oxydé et moins riche en hydrogène. En effet ce dernier a une proportion de COS labile plus faible, un $T_{50_HC_PYR}$ (température à laquelle 50% des hydrocarbures pyrolysables ont été pyrolysés) et $T_{50_CO2_OX}$ (température à laquelle 50% du CO_2 a évolué durant la phase d'oxydation) plus élevés, un indice oxygène plus grand et un indice hydrogène plus petit. Les deux indicateurs classiques du COS labile sont, de manière surprenante, seulement marginalement corrélés ($p = 0.051$) et ont des corrélations dépendantes de la profondeur. De même, le C-respiré est peu corrélé aux paramètres RE6 alors que la fraction POM-C a notamment une forte corrélation négative avec $T_{50_HC_PYR}$ ($\rho = -0.73$).

Notre étude montre que les paramètres RE6 sont de bons estimateurs de la fraction MOP-C, qui représente une fraction de COS labile avec un temps de résidence d'une vingtaine d'années et donc pertinente dans le cadre du suivi des évolutions de stocks de COS suite à des changements d'usages.

L'analyse thermique RE6 constitue donc une alternative rapide et peu coûteuse aux méthodes classiques de détermination du COS labile.

Barré, P. et al. *Biogeochemistry* 2016, 1-12, 130.

Gregorich, E.G. et al. *Soil Biol. Biochem.* 2015, 182-191, 91.

POSTERS

MO et mécanismes de stockage

P-21. Décomposition, persistance et stocks de la matière organique pyrogénique dans les écosystèmes terrestres

Abiven, Samuel; Reisser, Moritz; Coppola, Alysha

Université de Zurich, Suisse

La matière organique pyrogénique (MOPy) est issue de la combustion partielle de la biomasse végétale lors de feux naturels ou de la pyrolyse de résidus organiques pour une utilisation industrielle et agricole (biochar). Elle constitue une fraction particulière de la matière organique du sol : son entrée dans le sol est irrégulière, lorsqu'un feu se produit, sa persistance est importante, son temps moyen de résidence est le plus long des molécules actuellement mesurées et elle est présente en grande quantité dans les sols.

Cette communication présentera nos récents travaux sur les stocks, la persistance et les processus de dégradation de MOPy. Dans une analyse de la littérature, nous avons évalué la quantité de MOPy dans les sols au niveau global (Reisser et al., 2016). En moyenne, 13% de la MOS est constituée de MOPy, mais cette fraction peut constituer jusqu'à 60 % du total. Paradoxalement, la fréquence des feux, le climat ou l'occupation des sols ne semblent pas liés à la quantité de MOPy. Se sont les teneurs en argile et le pH des sols qui expliquent le mieux ces stocks de MOPy. Nous avons aussi étudié le temps de résidence dans des expériences au laboratoire (Abiven and Andreoli, 2011; Maestrini et al., 2014b), au champ (Maestrini et al., 2014a; Singh et al., 2014, Lutfalla et al., sub.) ou dans des analyses de la littérature (Singh et al., 2012). Nos résultats montrent que le MRT des MOPy est le plus long des composés organiques identifiables, mais est plus court qu'attendu, de l'ordre de 300 à 700 ans. Ceci peut s'expliquer par la présence de différents processus biotiques (décomposition) et abiotiques (solubilisation, Abiven et al., 2011), fragmentation (Pignatello et al., 2015, Reisser et al., sub., Gmuller et al., in prep.). Cette persistance plus courte que proposée précédemment correspond de plus à des priming effects importants, de l'ordre de -20 à + 30% après une année dans le sol (Reisser et al., sub.). Cependant, les temps de résidence dans les sédiments des rivières étant au moins un facteur 20 plus âgés que dans les sols (Coppola et al., sub., Hanke et al., 2017), il semble que des zones de stockage spécifique existent dans les bassins versants, permettant au MOPy d'être une forme de stockage à long terme de la matière organique.

- Abiven, S., and Andreoli, R. (2011). Charcoal does not change the decomposition rate of mixed litters in a mineral cambisol : a controlled conditions study. *Biol. Fertil. Soils* 47, 111–114. doi:10.1007/s00374-010-0489-1.
- Abiven, S., Hengartner, P., Schneider, M.P.W., Singh, N., and Schmidt, M.W.I. (2011). Pyrogenic carbon soluble fraction is larger and more aromatic in aged charcoal than in fresh charcoal. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1615–1617. doi:10.1016/j.soilbio.2011.03.027.
- Hanke, U. M., Reddy, C. M., Braun, A. L. L., Coppola, A., Haghipour, N., McIntyre, C. P., et al. (2017). What on Earth have we been burning? Deciphering sedimentary records of pyrogenic carbon. *Environ. Sci. Technol.* doi:10.1021/acs.est.7b03243.
- Maestrini, B., Abiven, S., Singh, N., Bird, J., Torn, M.S., and Schmidt, M.W.I. (2014a). Carbon losses from pyrolysed and original wood in a forest soil under natural and increased N deposition. *Biogeosciences* 11, 5199–5213. doi:10.5194/bg-11-5199-2014.
- Maestrini, B., Herrmann, A., Nannipieri, P., Schmitt, M., and Abiven, S. (2014b). Ryegrass-derived pyrogenic organic matter changes organic carbon and nitrogen mineralization in a temperate forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 69, 291–301. doi:10.1016/j.soilbio.2013.11.013.
- Pignatello, J.J., Uchimiya, M., Abiven, S., and Schmidt, M. W. I. (2015). "Evolution of biochar properties in soil," in *Biochar for environmental management*, 195–233.
- Reisser, M., Purves, R.S., Schmidt, M.W.I., and Abiven, S. (2016). Pyrogenic Carbon in Soils: A Literature-Based Inventory and a Global Estimation of Its Content in Soil Organic Carbon and Stocks. *Front. Earth Sci.* 4, 1–14. doi:10.3389/feart.2016.00080.
- Singh, N., Abiven, S., Maestrini, B., Bird, J. a., Torn, M. S., and Schmidt, M. W. I. (2014a). Transformation and stabilization of pyrogenic organic matter in a temperate forest field experiment. *Glob. Chang. Biol.* 20, 1629–1642. doi:10.1111/gcb.12459.
- Singh, N., Abiven, S., Maestrini, B., Bird, J. A., Torn, M. S., and Schmidt, M. W. I. (2014b). Transformation and stabilization of pyrogenic organic matter in a temperate forest field experiment. *Glob. Chang. Biol.* 20, 1629–1642.

Singh, N., Abiven, S., Torn, M. S., and Schmidt, M.W.I. (2012). Fire-derived organic carbon in soil turns over on a centennial scale. *Biogeosciences* 9, 2847–2857. doi:10.5194/bg-9-2847-2012.

P-22. Démêler l'écheveau des facteurs responsables de la dynamique du carbone

Abiven, Samuel; Gonzalez, Beatriz

Université de Zurich, Suisse

La persistance et les stocks de carbone sont liés à des propriétés des écosystèmes (Schmidt et al., 2011). Ces propriétés agissent de manière concomitante, et à des intensités différentes selon l'échelle d'espace et de temps considérée. Par exemple, l'érosion peut être considérée comme négligeable au niveau d'un simple système sol-plante, mais devient majeure à l'échelle des bassins versants (Doetterl et al., 2016). Étudiés séparément, beaucoup de facteurs semblent avoir un rôle à jouer dans la dynamique du carbone : le climat, les propriétés du sol, les formes paysagères, etc... Dans les modèles globaux, la température est souvent choisie comme facteur principal. Cependant, peu d'études comparent, dans un même design expérimental, différents facteurs sur le même plan. Dans cette étude (Gonzalez et al., in prep.), nous avons développé une méthode statistique permettant de choisir des sites expérimentaux ayant des propriétés climatiques (température et humidité), pédologiques (pH et argile) et paysagères (pente et orientation) orthogonales, c'est-à-dire que ces propriétés ne co-varient pas pour ces 54 sites forestiers suisses. Nous avons analysé le temps de résidence du carbone basé sur le calcul des flux et stocks, et sur l'analyse du carbone 14 des sols. Nous avons aussi analysé le carbone soluble de ces différents sols au cours d'une incubation de 6 mois.

Contrairement à ce qui a été proposé précédemment, la température et dans une moindre mesure l'humidité des sols ne jouent qu'un rôle minime sur la dynamique du carbone dans les sols. Le pH est par contre un bon prédicteur du temps de résidence du carbone sur le long terme. La teneur en argile détermine elle la quantité de carbone soluble. Cette étude montre aussi une disconnection des temps de résidence mesurés par ratio stocks / flux et par radiocarbone, indiquant des organisations très diverses de la matière organique des sols entre des compartiments labiles et des compartiments plus persistants.

- Doetterl, S., Berhe, A. A., Nadeu, E., Wang, Z., Sommer, M., and Fiener, P. (2016). Erosion, deposition and soil carbon: A review of process-level controls, experimental tools and models to address C cycling in dynamic landscapes. *Earth-Science Rev.* 154, 102–122. doi:10.1016/j.earscirev.2015.12.005.
- Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., et al. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49–56.

P-23. Compostage et lombricompostage avec des minéraux : influence sur les émissions de CO₂ pendant le compostage et après apport au sol

Barthod, Justine; Rumpel, Cornelia; Dignac, Marie-France

UMR iEES-Paris, Institut d'Ecologie et de Sciences de l'Environnement de Paris, 4 place Jussieu, 75005 Paris

Basés sur la bio-oxydation de la matière organique, le compostage et le lombricompostage émettent des quantités non négligeables de CO₂ dans l'atmosphère (Bernstad et al. 2016). Nous nous sommes intéressées à la stabilisation du carbone de la matière organique lors du compostage grâce à la formation d'associations organo-minérales. Pour cela nous avons composté des déchets organiques avec différents minéraux, avec et sans vers (*Eisenia fetida*). Nous avons étudié (1) l'influence des minéraux sur la minéralisation du carbone lors du compostage ; (2) l'influence des vers sur cette minéralisation (3) le devenir du carbone de ces co-composts et co-vermicomposts après apport au sol en tant qu'amendement. La première expérience consista en une incubation de matière organique fraîche durant 196 jours, permettant d'obtenir différents composts et vermicomposts, avec et sans minéraux (argiles et oxydes de fer), avec suivi des émissions de carbone. Dans un deuxième temps, les produits obtenus ont été incubés pendant 70 jours avec du sol (cambisol) pour suivre la minéralisation du carbone et sa répartition dans les différentes fractions du sol.

La présence de minéraux lors du compostage induisait une baisse significative des émissions de carbone, attribuée à la formation d'associations organo-minérales ou bien à un changement des communautés microbiennes. De plus, l'emploi de ces co-composts en tant qu'amendement permettait d'augmenter les stocks de carbone du sol, comparé à un compost classique. Comme dans le sol (Kleber et al., 2007), les propriétés intrinsèques des minéraux jouaient un rôle important dans la stabilisation du carbone, cependant nous avons observé des mécanismes différents comparés à ceux qui conduisent aux interactions organo-minérales dans le sol, en particulier avec des quantités importantes de minéraux. La présence de vers lors du co-compostage a significativement augmenté les émissions de carbone mais l'effet positif des minéraux pour diminuer la minéralisation était toujours observable. Le co-vermicompost a permis d'améliorer les propriétés du sol, tel que le stock de carbone.

Kleber M, Sollins P, Sutton R (2007). A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. *Biogeochemistry*, **85**:9-24.

Bernstad A, Schott S, Wenzel H, la Cour Jansen J (2016) Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management - an analytical review. *Journal of Cleaner Production* **119**:13-24.

P-24. Estimer le temps de résidence du carbone organique des sols à l'aide d'analyses thermiques

Cécillon, Lauric¹; Soucémariadin, Laure²; Baudin, François³; Chenu, Claire⁴; Houot, Sabine⁴; Kätterer, Thomas⁵; Lutfalla, Suzanne^{2,4}; Macdonald, Andy⁶; van Oort, Folkert⁴; Plante, Alain F.⁷; Savignac, Florence³; Barré, Pierre²

1 Université Grenoble Alpes, Irstea, France (lauric.cecillon@irstea.fr);

2 LG-ENS, CNRS-ENS, Paris, France;

3 ISTEP, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France;

4 ECOSYS, AgroParisTech-INRA, Thiverval-Grignon, France;

5 Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden;

6 Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire, UK;

7 University of Pennsylvania, Philadelphia, USA

Les modifications des stocks de carbone organique des sols (COS) ont une influence sur la concentration en CO₂ atmosphérique. Une connaissance précise du temps de résidence du C organique dans les sols est nécessaire pour prédire la contribution à venir des sols au changement climatique ou au contraire son potentiel d'atténuation. A l'heure actuelle, une telle connaissance n'existe pas : les méthodes utilisées sont longues à mettre en œuvre et imprécises.

L'objectif de ce travail est d'utiliser une collection exceptionnelle d'échantillons issus de jachères nues de longue durée pour développer des méthodes d'estimation robustes de la quantité de C organique stable dans les sols à l'échelle de 20 ans et du siècle. Ces méthodes sont basées sur des analyses thermiques (Rock-Eval 6) qui sont à la fois rapides et peu coûteuses.

Pour cela, nous avons construit deux jeux de données renseignant sur la perte de COS à 20 ans dans les échantillons de jachère nue (n = 36) et sur la quantité de C stable à l'échelle séculaire (n = 118). La quantité de COS perdue en 20 ans va de 0,8 à 14,3 gC·kg⁻¹ (concentration), ce qui représente 8,6 à 50,6% du COS total (proportion). La quantité de COS stable va de 14 à 100% du COS total pour notre jeu d'échantillons. Nous avons utilisé un modèle linéaire simple pour prédire la perte en COS à 20 ans et une régression multivariée (random forest) pour prédire la quantité de COS stable à l'échelle séculaire.

Cette étude démontre le potentiel de l'analyse thermique (Rock-Eval 6) pour prédire la quantité de C labile à l'échelle de 20 ans et stable à l'échelle du siècle. Ceci ouvre des perspectives très importantes pour la création d'une méthode rapide et peu coûteuse permettant d'estimer le temps de résidence du COS. Cette méthode devra en particulier être validée dans des contextes pédo-climatiques variés.

P-25. Recyclage du carbone organique pétrogénique d'un régolite sur marnes (exemple des Terres Noires des Alpes de Haute Provence)

Copard, Yoann¹, Chabaux, François², Pelt, Eric², Debret, Maxime¹, Di-Giovanni, Christian³,
Bakyono, Jean-Paul⁴, Klotz, Sébastien⁵, Leboutteiller, Caroline⁵

1 *Université de Rouen-Normandie, UMR CNRS 6143 M2C, 76821 Mont Saint Aignan*

2 *Université de Strasbourg, EOST, UMR CNRS 7517, LHyGeS, 67084 Strasbourg*

3 *Université d'Orléans, BRGM, UMR CNRS 7327 ISTO, 45071 Orléans*

4 *Université François Rabelais, EA 6293 GéHCO, 37200 Tours*

5 *IRSTEA, Unité ETNA, 38402 Saint Martin d'Hères*

Entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère et la lithosphère, les sols peuvent être considérés comme une interface clé, appelée Zone Critique, participant activement au cycle biogéochimique du C et jouant tantôt un rôle source ou puits de C. D'un point du Corg des sols (SOC), ceux développés sur des terrains sédimentaires sont alimentés soit du Corg biosphérique (montrant donc une activité ¹⁴C), soit par du Corg pétrogénique (soit fossile, et noté pOC) provenant de l'altération des roches. La contribution de ce carbone géologique au SOC, sa dynamique (taux et vitesse d'altération), sa contribution au CO₂ atm. via son altération, et les techniques permettant de le quantifier dans un mélange de MO pédologiques, demeurent encore aujourd'hui des verrous importants à lever.

Nous proposons ici d'apporter des éléments de réponse à ces questionnements en examinant le contenu organique d'un profil stable de régolite de plus de 3 mètres de profondeur (donc siège de l'altération plutôt longue), développé sur des marnes noires, et situé à proximité des sites instrumentés de Draix (sites OZCAR). Cette étude, financée par un projet INSU EC2CO BIOHEFFECT, a couplé méthodes classiques d'étude des MO (e.g. pyrolyse RE6), caractérisation rapide du contenu du profil par spectroscopie UV-VIS, analyses des isotopes du C (¹³C, ¹⁴C) et utilisation des méthodes des déséquilibres radioactifs de la série U/Th.

Nos principaux résultats portent sur (i) la contribution pOC au SOC, variant et entre 80 et 20 % vers la surface, (ii) le taux d'altération du pOC, proche de 40 % et constant dans les 2 premiers mètres, (iii) la vitesse d'altération du régolite, estimée à 1m/ Ma et enfin (iv) le flux spécifique de pOC libéré par altération, estimée à 4 10³ g km⁻² an⁻¹. Ce flux spécifique apparaît 1000 fois moins important que celui pouvant être calculé à partir de la fraction dissoute des cours d'eau drainant les marnes noires et implique une distribution de l'intensité de l'altération chimique spatialement très hétérogène, contrairement au site instrumenté du Strengbach. Parmi les opportunités possibles qu'offrent ces résultats, celle visant à quantifier le stock de pOC dans les régolites développés sur terrain sédimentaire, pourrait conduire à revisiter la dynamique du SOC et participerait à mieux quantifier les différents stocks de SOC.

P-26. Mise en place d'une méthodologie pour l'étude des matières organiques des sols de sites délaissés

de Junet, Alexis¹; Hamon, Etienne¹; Maunoury-Danger, Florence¹; Biache, Coralie¹; Leglize, Pierre²; Ouvrard, Stéphanie²; Séré, Geoffroy²; Jacob, Jérémy³

1 LIEC UMR 7136 CNRS/Université de Lorraine

2 LSE UMR 1120 INRA/Université de Lorraine

3 ISTO UMR 7327 CNRS/Université d'Orléans

L'étude des matières organiques des sols (MOS) des sites délaissés présente un double intérêt : une meilleure estimation de leurs teneurs et du potentiel de stockage pour une meilleure gestion de ces sites. A l'heure actuelle, les sites délaissés subissent des pressions économiques, foncières et environnementales fortes en raison de leur proximité avec les villes. En Lorraine, plus de 6000 ha ont été recensés avec des historiques, des propriétés physico-chimiques et des teneurs en contaminants très diversifiés. Dans cette étude nous avons donc mis en place une méthodologie pour caractériser les MOS des sites délaissés. Neuf sites ont été utilisés avec quatre historiques différents : une sablière, trois crassiers, trois bassins à boues et deux cokeries, pour un total de 80 échantillons. Nous nous sommes appuyés sur des méthodes de quantification des MOS et du COT (CHN, COT-mètre, perte au feu à 450°C), ainsi que des méthodes de détermination de la labilité (Evolved Gas Analysis et pyrolyse Rock-Eval) et de la nature des MOS (palynofaciès quantitatifs et pétrographie organique).

Les premiers résultats montrent que le temps de chauffe habituellement utilisé pour la perte au feu (8 h) n'est pas adapté pour tous les types de sols délaissés, et notamment les cokeries (> 100 h nécessaires). Le rapport MOS/COT varie également de 1.2 à 8.8 pour ces sols, et il n'est donc pas pertinent d'utiliser un de ces paramètres pour extrapoler l'autre.

Les stocks de C pour la sablière sont homogènes avec des valeurs comprises entre 6 et 10 kgC/m² sur 30 cm de profondeur. Les crassiers analysés possèdent en revanche des stocks de C hétérogènes mais qui sont les plus faibles (< 5 kgC/m² sur 10 cm). Les bassins à boues et les cokeries ont également des stocks en C très hétérogènes, avec respectivement 3 à 12 kgC/m² sur les 30 premiers cm et 2 à 40 kgC/m² sur 10 cm.

Les résultats des analyses thermiques EGA et Rock-Eval, réalisées sur onze échantillons sélectionnés sur les neuf sites, sont très proches. Deux principaux résultats sont à noter dans ce début de typologie des MOS de sites délaissés :

- les MOS présentes dans la sablière (sol forestier non contaminé) ont une plus grande labilité que la majorité des MOS retrouvées dans les autres types de sites délaissés. La fraction facilement dégradable représente 30% du C dans la sablière contre par exemple seulement 15-20% dans les bassins à boues.
- la dynamique des MOS est contrastée pour certains types de sites délaissés. Dans certains crassiers, 50% du C peut être considéré comme labile contre seulement 20% pour d'autres. Dans les cokeries, la fraction labile est beaucoup plus faible que celle des autres sites délaissés, mais elle varie du simple au double pour atteindre moins de 10% du C.

Cette première approche typologique sur les MOS des sites délaissés doit être renforcée avec un plus grand nombre de sites à prendre en compte.

P-27. La dépolymérisation de la matière organique : étape clef contrôlant la dynamique du carbone des sols

Derrien, Delphine¹; Sainte-Marie, J.¹; Barrandon, Mathieu²; Martin, F. ³; Gelhaye, E.⁴; Saint-André, Laurent¹

1 *INRA, Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, Champenoux, France*

2 *Institut Elie Cartan de Lorraine, Université de Lorraine, Vandoeuvre les Nancy, France*

3 *INRA-Université de Lorraine, Interactions Arbres-Microorganismes, Champenoux, France*

4 *Université de Lorraine, Vandoeuvre les Nancy, France*

Les enzymes jouent un rôle incontestable dans la dynamique du carbone (C) dans les sols. Elles catalysent la décomposition des substrats organiques en petits composés avant qu'ils puissent être assimilés puis respirés ou transformés en métabolites microbiens. Pour tenir compte de ce processus majeur, une nouvelle génération de modèles de dynamique du C a émergé au cours de la dernière décennie, rapportant les propriétés des enzymes et la physiologie des décomposeurs. Cependant dans ces modèles, la matière organique est représentée comme une seule entité ou divisée en quelques groupes, alors qu'elle est constituée d'un continuum de composés à divers stades de décomposition.

Nous avons développé un nouveau modèle qui intègre le fait qu'un substrat donné existe sous de nombreuses formes différentes, en fonction de son stade de polymérisation ou de ses interactions avec d'autres phases organiques ou minérales du sol. Le modèle rapporte comment le niveau de polymérisation du substrat évolue sous l'action d'une enzyme jusqu'à une valeur seuil où le substrat devient accessible pour l'absorption microbienne.

Les simulations théoriques que nous avons réalisées révèlent comment l'activité lignolytique régule l'action des enzymes cellulolytiques lors de la décomposition du bois. Les simulations montrent également comment les traits fonctionnels des différentes communautés de décomposeurs qui se succèdent lors de la décomposition impactent la biochimie du bois résiduel. Les simulations démontrent enfin que l'action des enzymes contrôle fortement la quantité de C séquestrée dans le sol, sa biochimie et son turn-over.

P-28. Potentiel de stockage du carbone dans les sols tropicaux sous culture

Fujisaki, K.¹; Lardy L.²; Razafimbelo, Tantely³; Chotte, Jean-Luc¹; Albrecht, A.⁴; Chevallier, Tiphaine¹

1 IRD, UMR Eco&Sols, Montpellier, France

2 IRD, UMR Eco&Sols, Dakar, Sénégal

3 Université d'Antananarivo, Laboratoire des Radioisotopes, Antananarivo, Madagascar

4 IRD, UMR Eco&Sols, La Réunion, France

Le sol est le plus grand réservoir de carbone (C) continental et participe au cycle global du C. Depuis 2 ans, l'initiative internationale « 4 pour 1 000, des sols pour la sécurité alimentaire et le climat » a pour ambition de soutenir les efforts vers une meilleure gestion des stocks de C des sols. Le potentiel de stockage de C des sols est au centre des discussions : Où, comment, à quelles échelles de temps peut-on espérer stocker du C dans les sols ? Quel est le stock maximum de C qu'un sol peut stocker ? est-ce que ce maximum est l'objectif principal à atteindre ? augmenter le stock de carbone des sols est-il compris de la même façon dans les 2 objectifs affichés de l'initiative 4 pour 1000 : *la sécurité alimentaire et le climat*.

Des données mesurées et publiées sur les stocks de C de divers types de sols et sous différents usages existent aussi bien en milieu tempéré que tropical. L'étude présentée ici s'est focalisée sur les sols tropicaux cultivés. Elle présente une méta-analyse de ces données afin de préciser les déterminants des variations de stocks de carbone des sols, et de discuter la notion de saturation en carbone des sols afin de quantifier le potentiel de stockage de carbone sous culture. Les taux d'accumulation de carbone par l'adoption de certaines pratiques culturales supposées augmenter les stocks de carbone ont été analysés. Ces pratiques culturales ont été la réduction du travail du sol, la diversification des rotations, les apports de matières organiques, la fertilisation minérale et différentes combinaisons de ces pratiques.

Les principaux résultats montrent que bien que la teneur en argile et limons fins soit un déterminant du stock de carbone du sol et de sa capacité maximale à stabiliser le C dans le sol (Feng et al. 13), les données expérimentales disponibles sur des essais au champ ont peine à montrer qu'une modification de pratiques agricoles puisse combler le déficit de saturation de C du sol. L'analyse des taux d'accumulation en C du sol de différentes pratiques agricoles montre que seuls la durée d'expérimentation et les quantités de carbone apportées au sol sous forme de résidus de culture ou d'amendement sont le principal déterminant et leviers d'action pour stocker du carbone dans les sols sous culture. (Fujisaki et al. en revision).

Si atteindre le niveau de saturation d'un sol défini par sa teneur en éléments fins paraît difficile sous culture, nous proposons de définir le potentiel de stockage de C des sols selon leur teneur en éléments fins mais aussi selon leurs usages (Stewart et al. 07 ; Fujisaki et al. 18). Enfin dans un objectif de stocker du carbone dans les sols pour le climat mais aussi pour la sécurité alimentaire, nous insistons sur la nécessité de ne pas focaliser les études sur le stockage de C uniquement sur les fractions fines du sol qui participent peu au recyclage des nutriments et à production agricole.

Feng, W., Plante, A.F., Six, J., 2013. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. *Biogeochemistry* 112, 81–93.

Fujisaki, K., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., Razafimbelo, T., Chotte, J.-L., Chevallier, T., 2018. Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of tropical soils: Implications for soil carbon storage potential in croplands. *Geoderma* 313, 41–51.

Stewart, C.E., Paustian, K., Conant, R.T., Plante, A.F., Six, J., 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry* 86, 19–31.

P-29. Associations organo-minérales dans les couches d'altération de biotite et dans l'espace interfoliaire de vermiculite

Jesus van der Kellen, Ingrid; Klopfert, Jean; Derrien, Delphine; Turpault, Marie-Pierre

INRA, *Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers - Nancy-Grand-Est, France*

Les activités humaines sont responsables d'une augmentation des teneurs en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier carbonés (CO₂, CH₄), augmentation devenue synonyme de changement climatique. Ces émissions anthropiques sont partiellement compensées par la séquestration de carbone (C) dans les écosystèmes océaniques et terrestres, et notamment dans la végétation et les sols (Le Quéré et al. 2015). Les sols ont une importance cruciale pour les régulations climatiques. En effet, ils contiennent trois fois plus de C que l'atmosphère (2400 GtC vs 800 GtC), sous forme de C organique présent dans les matières organiques (MO). Les sols peuvent se comporter comme puits ou sources, en fonction de leurs propriétés biophysicochimiques, du climat, de l'usage des terres et des pratiques agricoles et sylvicoles.

Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (1992) et le Protocole de Kyoto (1997), dont la France est signataire, il sera obligatoire de présenter annuellement un inventaire des émissions et séquestre de carbone à partir de 2020. Pour déterminer les flux et les stocks de C dans les sols il est nécessaire déterminer au niveau local les conditions initiales de ces stocks. Il est également essentiel de bien comprendre les mécanismes qui contrôlent la stabilisation et déstabilisation du C organique dans les sols, en fonction du type de sol, de façon à développer des indicateurs de stockage de C pertinents. Les structures minérales jouent un rôle majeur dans le stockage de C dans les sols, par la protection physique (Hatton et al., 2012) et chimique de la matière organique contre les agents responsables par la minéralisation (Kleber et al., 2015), e.g. flore microbienne et champignons. Les mécanismes qui contrôlent l'altération des minéraux primaires et la précipitation de minéraux secondaires pourraient constituer des éléments clefs pour le développement d'indicateurs pertinents de la stabilisation et déstabilisation du C dans les sols. Dans ce travail, nous avons voulu vérifier si des liaisons se créent entre les MO et les phyllosilicates en cours d'altération, à l'extérieur des feuillets et dans l'espace interfoliaire. Afin de vérifier les hypothèses énoncées, nous allons soumettre des échantillons de biotite et vermiculite à une solution altérante (HCl) contenant de la matière organique aromatique et/ou polaire. Le choix des phyllosilicates de type mica – biotite et de type vermiculite a été établi sur leur forte fréquence dans les sols. La sélection de la matière organique est basée sur la forte réactivité de ces composés. Après plusieurs semaines de traitement, les échantillons seront analysés en diffraction des rayons X, en spectroscopie infrarouge et en microscopie électronique à balayage, pour vérifier la présence et localisation de carbone et caractériser la nature des liaisons chimiques. Un bilan d'altération minérale sera également entrepris.

Hatton, P.J., Kleber, M., Zeller, B., Moni, C., Plante, A.F., Townsend, K., Gelhaye, L., Lajtha, K., Derrien, D., 2012. Transfer of litter-derived N to soil mineral-organic associations: Evidence from decadal N-15 tracer experiments. *Org. Geochem.* 42, 1489-1501

Kleber, M., Eusterhues, K., Keiluweit, M., Mikutta, C., Mikutta, R., Nico, P.S. . 2015. Mineral–Organic Associations: Formation, Properties, and Relevance in Soil Environments . *Advances in Agronomy* 130 (1), 1-140

Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., et al. 2015. Global Carbon Budget 2015. *Earth System Science Data*, 7(2), 349-396. doi:10.5194/essd-7-349-2015

P-30. Evolution quantitative et qualitative des flux de carbone organique des sols à l'échelle du bassin versant en milieu subtropical. Exemple de la zone atelier de Cathedral Peak, Afrique du Sud

Mathieu, Olivier¹; Thevenot, Mathieu¹; van Rensburg, Sue²; Abdalla, Khatab³; Leveque, Jean¹; Amiotte-Suchet, Philippe¹; Santoni, Anne-Lise¹; Chaplot, Vincent⁴; Everson, Colin^{2,3}

1 Univ. Bourgogne Franche-Comté, CNRS, Biogéosciences, F-21000 Dijon, France

2 South African Environmental Observation Network (SAEON), Queen Elizabeth Park, 1 Peter Brown Drive, Pietermaritzburg, South Africa

3 Univ. KwaZulu-Natal, King Edward Avenue, Scottsville, Pietermaritzburg, South Africa

4 IRD, UMR LOCEAN 6159 CNRS/IRD/UPMC/MNH, 4, place Jussieu, 75252 Paris, France

Les écosystèmes et plus spécifiquement les sols sont un compartiment clé au sein du cycle biogéochimique du carbone. Les sols peuvent jouer un rôle de puits de carbone ou bien celui de source de gaz à effet de serre (GES). Le contexte climatique actuel, les changements d'occupation des terres et leur mode de gestion, sont susceptibles de modifier la dynamique de décomposition des matières organiques des sols (MOS) et par conséquent les flux de carbone. Les conséquences sont particulièrement visibles en climat subtropical dont les écosystèmes fragiles réagissent rapidement aux changements. En Afrique du Sud, il a été observé une dégradation des sols avec une tendance à la diminution des stocks de matières organiques et à une modification de leur qualité.

Dans ce contexte, mener des études à l'échelle du bassin versant est nécessaire à la compréhension des processus de production et de transfert des MOS, indispensable à une meilleure prévision de l'évolution des sols et plus globalement des écosystèmes. Une zone atelier composée d'une quinzaine de bassins versants, caractéristiques des biotopes de hauts plateaux, a été mise en place dans la réserve naturelle de Cathedral Peak, (région du KwaZulu-Natal, Afrique du Sud). Au sein de cette zone, notre étude repose sur le suivi de 3 bassins versants (BV 3, 6 et 9) à l'historique et au mode de gestion différents. A l'échelle de chaque bassin versant, des campagnes d'échantillonnage ont été menées afin de : (i) quantifier les teneurs en C et N des sols, (ii) déterminer les signatures isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ et (iii) caractériser la composition moléculaire par Py-GC-MS. De plus, les flux de CO_2 et CH_4 ont été quantifiés à différentes positions pour chaque BV à partir de chambres d'incubation. La signature $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ a aussi été mesurée afin de faire le lien avec les MOS.

Les premiers résultats montrent une grande variabilité des teneurs en C entre les BV mais aussi au sein d'un même BV. La signature $\delta^{13}\text{C}$ est elle aussi très variable, résultat des changements d'occupation des sols (brûlis, envahissement par des plantes « aliens », dégradation par érosion). Cette hétérogénéité se retrouve également à l'échelle moléculaire avec une variation dans la composition des MOS entre et au sein des bassins versants. Les flux de CO_2 mesurés sont en accord avec ces variations quantitative et qualitative de MOS. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ vs $\delta^{13}\text{C}-\text{MOS}$ démontrent des sources et des mécanismes de dégradation différents. Les flux de CH_4 sont négatifs (puits de C) pour l'ensemble des BV avec néanmoins une variabilité spatiale dans l'intensité de ces processus. Ces premiers résultats montrent l'importance de l'approche spatiale dans la compréhension de la relation entre qualité et flux de carbone et permettront d'appréhender le devenir de ces écosystèmes subtropicaux face aux changements environnementaux.

P-31. Suivi en 'litter bag' de la biodégradation de fumier de bovins frais et séché : dynamiques comparées de la minéralisation C et observations en microscopie électronique à transmission

Morvan, Thierry¹; Watteau, Françoise²; Germain, P.¹

1 UMR SAS, INRA, AGROCAMPUS OUEST 35000 Rennes, France thierry.morvan@inra.fr

2 Laboratoire Sols et Environnement, UL-UMR INRA 1120, Vandoeuvre-les-Nancy, France

L'étude de la biodégradation dans le sol de produits organiques réalisée en conditions contrôlées de laboratoire est généralement faite sur des échantillons de produits préalablement séchés. Le séchage peut toutefois introduire un biais sur les processus étudiés, du fait de pertes gazeuses ou de transformations chimiques et biologiques de la MO. L'expérimentation a eu pour objectifs de répondre à cette question.

Des 'litter bags' contenant du fumier de bovins frais ou séché (40 °C) ont été placés dans des flacons de 2 L, en contact avec 500 g de sol humide (85 % de la capacité du champ). Ils ont été incubés à la température de 15°C et échantillonnés à 6 dates, du 7e au 301e jour d'incubation, puis séchés à 40°C et broyés pour analyse C et N. Les produits initiaux et incubés ont également été soigneusement échantillonnés, avant séchage, pour des observations avec une loupe binoculaire, et des sous-échantillons ont été préparés pour leur caractérisation en microscopie électronique en transmission (MET).

La biodégradation de la MO est décrite par une cinétique en 2 étapes, avec un point d'inflexion correspondant à une forte diminution de la biodégradation après 28 jours d'incubation. La biodégradation du fumier frais a été significativement plus élevée que celle du fumier séché au cours de la première phase [0-28 j]. Le taux de biodégradation du fumier frais reste plus élevé que celui du produit séché en fin d'incubation, mais avec une atténuation des écarts entre les 2 produits.

Les observations en microscopie électronique ont mis en évidence des différences importantes entre les fumiers frais et séchés initiaux : les éléments ligneux du fumier séché ont été colonisés et fortement dégradés par les champignons, durant le séchage, tandis que le fumier frais présente des éléments ligneux non dégradés, même si une colonisation microbienne est observée.

Les observations faites en fin d'incubation (jour 301) montrent que les produits frais et séchés et frais sont fortement biodégradés et présentent des microstructures similaires: i) les épaissements ligneux des particules grossières ont pour la plupart disparu, ii) les résidus de tissus végétaux sont réduits à la lamelle moyenne, et iii) la fraction fine est devenue prédominante, constituée de résidus de parois cellulaires associés à des spores microbiennes.

En conclusion, l'approche utilisée a permis de caractériser (i) l'impact du séchage sur la dynamique de la minéralisation d'un produit et (ii) la transformation de la MO, en relation avec l'activité microbienne. Ces informations complètent les informations provenant du fractionnement des MO.

[1] Watteau, F. and Villemin, G. 2011. *Bioresource Technology*, 102, 9313-9317

P-32. Impact de la préparation mécanique des sols en contexte de plantation forestière sur le carbone du sol

Quibel, Edouard¹; Juarez, Sabrina¹; Aubert, Michaël¹; Copard, Yoann²; Richter, Claudine³; Cécillon, Lauric^{1,4}; Collet, Catherine⁴; Bureau, Fabrice¹

1 ECODIV URA IRSTEA/EA 1293 ;

2 CNRS UMR 6143 M2C ;

3 ONF département RDI ;

4 IRSTEA Grenoble ;

5 UMR 1092 INRA LERFOB

Dans le contexte de changement climatique, la plantation forestière constitue une voie privilégiée pour mettre en œuvre les stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. L'adaptation des peuplements forestiers aux changements climatiques est un prérequis indispensable à tout objectif d'atténuation. La phase de plantation suppose des opérations sylvicoles destinées à favoriser le développement des plants en éliminant la concurrence herbacée. Des méthodes innovantes pour la préparation du sol ont ainsi été développées mais demandent à être évaluées. Elles utilisent des outils légers montés sur mini-pelle comme le scarificateur réversible (SR) ou le sous-soleur multifonction (SSM) qui permettent un travail localisé du sol respectivement jusqu'à 30 cm et 60 cm de profondeur. Cependant, de nombreux travaux en milieu agricole ont démontré que le travail mécanique provoque également un déstockage du Carbone Organique du Sol (COS). Le projet CAPSOL, coordonné par le LERFORB (INRA) et financé par l'ADEME, a ainsi pour objectif **d'évaluer les conséquences des travaux de préparation mécanique du sol (SR et SR+SSM) lors de la phase de plantation des peuplements forestiers sur les stocks de COS**. Il s'agit de mesurer les stocks de COS en quantité et en qualité au sein des horizons organiques de litière et des horizons minéraux jusqu'à 60 cm. Pour répondre à cet objectif, CAPSOL s'appuie entre autres sur le réseau expérimental national Alter, pour Alternative aux herbicides.

Ce travail présente les résultats obtenus sur le site Alter de Bord-Louviers en Normandie (27) caractérisé par un sol ocre podzolique sur alluvions limono-sableuses à charge en cailloux faible à moyenne. Le stock de COS mesuré jusqu'à 60 cm de profondeur au niveau de la ligne de plant est significativement différent entre les 2 modalités travaillées (SR et SR+SSM) et la modalité sans travail (témoin). Cette différence ne peut pas être interprétée comme un déstockage du COS. En effet, l'utilisation de l'outil SR conduit à la création d'inter-rangs non travaillés mais aussi à l'élimination de la végétation concurrente par arrachage dans la ligne de plant puis au déplacement de celle-ci vers des zones d'accumulation, les andains. Ceci conduit à une hétérogénéité dans l'organisation spatiale des horizons travaillés à l'échelle de la parcelle. Les andains présentent un stock superficiel de COS (litière et 0-10 cm) significativement plus élevé que l'inter-rang et la ligne de plants. A l'échelle de la parcelle, si l'on tient compte de cette hétérogénéité spatiale, les stocks de COS superficiels ne présentent pas de différence significative entre les modalités travaillées et la modalité sans travail. La qualité des stocks de COS a été appréhendée par la pyrolyse Rock Eval. Certains indices de stabilité thermique ($T_{50_CO_2_ox}$) indiquent une nouvelle répartition des fractions labile et stable au sein du profil de sol dans la zone impactée par le travail du sol. En conclusion, il apparaît indispensable de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale induite par le travail mécanique des outils pour appréhender le niveau des stocks de COS et leur qualité à l'échelle de la parcelle.

P-33. Étude sur la structure et la mobilité de la matière organique des Spodosols Amazoniens, Brésil

Tadini, Amanda M.^{1,2,3}; Milori, Débora M. B. P.²; Mounier, Stéphane³

1 *Embrapa Instrumentation, São Carlos, SP, Brazil;*

2 *Institute of Chemistry of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, SP, Brazil;*

3 *Laboratoire PROTEE, Université de Toulon - CS 60584, 83041 Toulon, Cedex 9, France, stephane.mounier@univ-tln.fr*

Les sols jouent un rôle important dans la plupart des activités qui se produisent sur terre, parmi lesquelles sa participation dans les grands cycles biogéochimiques n'est pas des moindres. En effet, la matière organique des sols (MOS) joue un rôle clé dans la durabilité environnementale, car elle est liée au cycle du carbone et des nutriments et ceci est un élément primordial pour les études liées au changement climatique mondial et pour les études agronomiques. L'un des principaux constituants de la MOS sont les substances humiques (SH) qui sont elles-mêmes fractionnées en fonction de leur solubilité en acides humiques (AH), acides fulviques (AF) et humine (HU)^{1,2}. L'étude des propriétés optiques de la matière organique est un outil important pour la compréhension structurale et moléculaire des fractions humiques. Ce travail porte sur la genèse de Spodosols Amazonien par l'évaluation des caractéristiques structurelles de leur matière organique et leurs propriétés de complexation métallique en utilisant diverses techniques spectroscopiques. Les résultats ont montré de grandes accumulations de carbone en profondeur et que la matière organique dans ces Spodosols Amazoniens est constituée de quatre groupes : - plus récalcitrant, humifié et ancien; - labile et jeune; - récalcitrant, peu humifié et ancien; - humifié et jeune³. De toute évidence, le travail a montré que le processus d'humification n'a aucune relation directe avec la datation de la matière organique et que des facteurs tels que la texture, la présence d'eau et les microorganismes ont influencé les processus de formation et d'humification de cette matière organique. Enfin, la fraction des AF du sol semble avoir une contribution provenant des eaux souterraines, sa structure chimique variant peu au sein d'un profil et ayant une interaction sélective avec les métaux présents dans ces sols. La fraction des AH, cependant, s'est révélée moins sélective, associée divers types de métaux, tels que K, Fe, Mg, Zn et Al. Par contre, la structure chimique des AH semble dépendre du profil de sol. En raison de la diversité des métaux que les AH peuvent complexer, ils sont potentiellement des acteurs importants de la fertilité du sol. Les résultats ont montré que les trois fractions humiques (AF, AH et HU) sont fortement impliquées dans le processus de podzolisation des sols et que les AF ont un rôle prédominant dans le transport d'Al tandis que les AH sont les protagonistes du transport du Fe.

Acknowledgements: FAPESP (Process: 2013/13013-3)

1 Stevenson FJ, *Humus chemistry: genesis, composition and reaction*. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, 1994.

2 TADINI, A. M.; et al. The importance of humin in soil characterisation: a study on Amazonian soils using different fluorescence techniques. *Science of the Total Environment*, 2015.

3 TADINI, A.M.; et al. Soil organic matter in podzol horizons of the Amazon region: Humification, recalcitrance, and dating. *Science of the Total Environment*, 613–614, 160–167, 2018.

P-34. Incorporation de racines et de parties aériennes marquée au ^{13}C dans le sol en présence de *Lumbricus terrestris*: une approche isotopique et moléculaire

Vidal, Alix; Quenea Katell; Alexis, Marie; Nguyen, Tu Thanh Thuy; Anquetil, Christelle; Derenne, Sylvie

UMR Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols (METIS), UMR 7619, UPMC, CNRS, EPHE UMR METIS, Paris, France

La compréhension du devenir de la matière organique (MO) des sols est essentielle à une meilleure gestion des sols, afin d'y stocker du carbone ou d'améliorer sa fertilité. La composition chimique mais également l'accessibilité de la MO aux microorganismes dans les sols semblent être des éléments déterminants, mais dont les rôles respectifs sont encore difficiles à évaluer.

Si les racines et les parties aériennes des plantes présentent des caractéristiques moléculaires contrastées, le fait que ces caractéristiques influent sur leur vitesse de dégradation dans les sols est encore débattu. Par ailleurs, dans les sols, les vers de terre ont une forte influence sur la vitesse de décomposition de la litière. En effet, leurs turricules constituent des structures biogéniques importantes d'un point de vue quantitatif mais également du fait de leur influence sur la dynamique de la MO par la protection physique de la MO. Cependant, les vers de terre sont influencés par la qualité de la litière, aussi leur impact sur le devenir des parties aériennes ou souterraines reste à préciser.

Les études portant sur la composition chimique des turricules sont rares (Guggenberger et al., 1996; Hong et al., 2011). La dynamique induite par les vers a été étudiée principalement en utilisant la concentration totale en carbone et/ou les isotopes du carbone (Six et al., 2004; Fonte et al., 2012). Cependant, la dynamique à court et à long terme de l'incorporation et de la décomposition en litière n'a pas été étudiée au niveau moléculaire.

Cette étude visait à suivre l'incorporation, et la décomposition, de la litière de racines d'une part et de parties aériennes d'autre part, dans des turricules de vers de terre en utilisant la caractérisation moléculaire. Les turricules ont été recueillis à partir d'une expérience en mésocosme 2, 4, 8, 24 et 54 semaines après l'addition de résidus de racines ou de parties aériennes à la surface du sol. La caractérisation moléculaire a été réalisée en utilisant la pyrolyse couplée à la CG-SM en présence de TMAH. Pour optimiser la compréhension des processus se produisant dans les turricules, cette étude a combiné l'analyse en composantes principales et le suivi de la dynamique de molécules spécifiques. Le devenir de la litière racinaire dans les turricules était principalement reflété par les composés aromatiques, tandis que les composés aliphatiques permettaient de suivre le devenir des parties aériennes dans les turricules. Les vers de terre ont incorporé rapidement les racines et les parties aériennes dans les turricules. Après deux mois, la caractérisation moléculaire a révélé une phase dominée par la décomposition de la litière incorporée dans les turricules. L'existence de deux pools de composés dérivés de la lignine a été soulignée: celle provenant de la litière non décomposée (principalement non oxydée) et celle provenant de la décomposition de la litière (plus oxydée)(Vidal et al., 2016). De plus, la contribution importante des composés à la fin de l'expérience et dans les échantillons témoins, suggère que les molécules ayant un degré d'oxydation plus élevé pourraient être conservées préférentiellement dans les turricules de vers de terre.

Fonte, S.J., Qintero, C.D., Velasquez, E., Lavelle, P., 2012. Interactive effects of plants and earthworms on the physical stabilization of soil organic matter in aggregates. *Plant Soil* 359, 205–214.

Guggenberger, G., Thomas, R., Zech, W., 1996. Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia. *Applied Soil Ecology* 3, 263–274.

Hong, N.H., Rumpel, C., Henry des Tureaux, T., Bardoux, G., Billou, D., Tran Duc, T., Jouquet, P., 2011. How do earthworms influence organic matter quantity and quality in tropical soils? *Soil Biology and Biochemistry* 43, 223–230.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research* 79, 7–31.

Vidal, A., Quenea, K., Alexis, M., derenne, S., 2016. Molecular fate of root and shoot litter on incorporation and decomposition in earthworm casts. *Organic Geochemistry* 101.

MO et cycles biogéochimiques

La MO au cœur des cycles des éléments

**Processus biogéochimiques impliqués dans les cycles des nutriments (C, N,
P...)**

ORAUX

MO et cycles biogéochimiques

Conférence introductive Thème MO et cycles biogéochimiques

Source, production et transfert des matières organiques dissoutes dans les bassins versants : éclairages apportés par 10 années de recherche sur le bassin-versant de Kervidy-Naizin, ORE Aghrys

Gruau, Gérard

UMR 6118 Géosciences Rennes, Université de Rennes 1 / CNRS, Rennes, France

Les matières organiques dissoutes (MOD) sont une des composantes du cycle externe du carbone. Ce sont aussi des vecteurs importants de polluants dans l'environnement. La présence de MOD en fortes concentrations complique également le traitement de l'eau, faisant des MOD un enjeu économique important dans de nombreux pays. Dans les rivières, l'essentiel des MOD provient des sols des bassins versants. A l'heure actuelle et malgré de nombreux travaux, les dynamiques d'activation des sources de MOD au niveau des sols et de contribution de chacune de ces sources au flux total de MOD exporté demeurent encore mal comprises, comme sont encore mal compris les rôles joués par les facteurs hydro-climatiques (distribution des précipitations, dynamique des nappes, etc...) et les propriétés physiques des milieux (épaisseur des organismes organiques des sols, géométrie des circulations de l'eau, etc...), et leurs variabilités spatio-temporelles, sur ces dynamiques. Se pose aussi la question de la mise en connexion des sources de MOD au niveau des sols avec le réseau hydrographique, et des facteurs de contrôle de cette mise en connexion. Plus globalement, le défi qui nous est adressé ici est de comprendre comment les mécanismes de solubilisation élémentaires de la MOD s'agrègent à l'échelle du milieu physiquement hétérogène qu'est le bassin-versant, et comment cette agrégation répond elle-même aux variabilités saisonnières et interannuelles de la dynamique de l'eau et de l'hydroclimat.

Les bassins versants expérimentaux de type ORE constituent sur ce plan des outils de recherche privilégiés, de par leur capacité à acquérir en parallèle et en continu des informations sur la concentration et la composition des MOD depuis les zones sources au niveau du sol jusqu'au réseau hydrographique, tout en contraignant la variabilité des propriétés du milieu et de l'hydroclimat. L'objectif de cet exposé sera de montrer comment l'utilisation couplée de ces informations permet de placer des contraintes de premier ordre sur la localisation des sources de MOD dans les paysages, la manière dont les processus de production de la MOD se distribuent dans le temps et dans l'espace, ainsi que sur les liens entre mécanismes de solubilisation des MOD au niveau du sol, propriétés des MOD solubilisés et variabilités spatio-temporelles des propriétés physiques des milieux et de l'hydroclimat. Au final, on montrera comment les dynamiques chimiques, moléculaires et isotopiques des MOD sont très fortement couplées à la dynamique de l'eau (et donc de l'hydroclimat) dans les bassins versants. On apportera également des éléments montrant comment les dynamiques de solubilisation et de transfert de la MOD se couplent avec celles du Fer, du Phosphore et de l'Azote.

L'ancienneté et la nature de la couverture du sol comme facteurs de modulation du stockage de carbone et du fonctionnement microbien en prairie permanente

Amiaud, Bernard¹; Olry, Jean-Charles¹; Genestier, Julie²; Fauvet, Aude²; Piutti, Séverine²

1 UMR 1173 Ecologie et Ecophysiologie Forestières, Université de Lorraine-INRA, Campus des Aiguillettes, Faculté des Sciences et Technologie, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

2 UMR 1121 Agronomie et Environnement, Université de Lorraine-INRA, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54518 Vandœuvre-lès-Nancy

Les stocks de carbone (C) des sols dépendent en premier lieu du mode d'occupation. Ainsi en France, Martin et al. (2011) indiquent des stocks moyens de C sur 0-30 cm de profondeur de 80 t C.ha⁻¹ sous forêt et prairie et de 50 t C.ha⁻¹ sous culture annuelle. Différents facteurs liés à la gestion de ces couvertures végétales et leur durée de présence, ainsi que les caractéristiques pédoclimatiques de la parcelle peuvent moduler cette capacité de stockage de C des sols. Au sein des prairies permanentes, les combinaisons de ces différents facteurs et leurs interactions rendent difficilement prévisible la compréhension des processus de stockage de C et l'impact sur le fonctionnement microbien en lien avec la décomposition des différents pools de C. En effet, la composition floristique, le mode d'exploitation (fauche, pâturage), l'intensité d'exploitation (chargement, fréquence des coupes, fertilisation) et la pérennité de la couverture végétale sont connus comme étant des facteurs déterminants du fonctionnement des prairies permanentes (Gaujour et al. 2012). Ces pratiques de gestion peuvent modifier les stocks de C directement en modulant les entrées de MO (litière et/ou effluents d'élevage) et indirectement en orientant la composition et le fonctionnement des communautés végétales ce qui pourrait agir sur le temps de résidence et la localisation de la MO et in fine sur la capacité à stocker le C (Hassink and Neeteson 1991). Les différences de quantité/qualité de la MO incorporée semble être par ailleurs dépendante de l'ancienneté de l'écosystème et ces variations peuvent avoir des conséquences sur le fonctionnement microbien et notamment sur les activités de décomposition/minéralisation des MO du sol. Au travers de ces éléments, il apparaît que l'ancienneté d'une prairie associée à des pratiques agricoles favorables à une flore diverse pourrait influencer le stockage de C par augmentation d'un pool de C récalcitrant. Ce projet a pour objectif de quantifier les pools de C organique du sol sous des prairies permanentes différant selon leur composition floristique et la nature de l'antécédent en termes de couverture de sol (3 habitats : culture, forêt, prairie). L'hypothèse de ce travail est que ces facteurs en modifiant la nature des pools de C du sol (labile vs récalcitrant) ont sélectionné des communautés microbiennes différentes tant du point de vue de la diversité génétique que de leurs traits fonctionnels en lien avec la décomposition/minéralisation des MO. Les premières analyses de sol, encore en cours d'acquisition, montrent des teneurs en C plus élevées dans les sols de prairies n'ayant jamais connues d'autres couvertures de sol comparativement aux prairies ayant été, par le passé, en forêt ou en culture. Les activités enzymatiques (en lien avec les cycles biogéochimiques) mesurées sur les sols mettent en évidence des différences significatives selon l'antécédent de couverture du sol suggérant des fonctionnalités différentielles liées au temps de résidence des pools de C tant sur la fraction totale (fractionnement de MO) que soluble (extrait à l'eau chaude).

Gaujour, E., Amiaud, B., Mignolet, C., Plantureux, S. (2012) Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 133-160.

Hassink, J. et Neeteson, J.J. (1991). Effect of grassland management on the amounts of soil organic N and C. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 39: 225-236.

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

Evolution saisonnière de la signature isotopique et moléculaire des MOD des solutions de sol : identification d'un transfert de MOD à l'échelle du versant

Denis, Marie¹; Jeanneau, Laurent¹; Gruau, Gérard¹; Petitjean, Patrice¹; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine¹; Humbert, Guillaume²; Jaffrezic, Anne²; Viaud, Valérie²

1 UMR 6118 Géosciences Rennes, Université de Rennes 1 / CNRS, Rennes, France

2 UMR 1069 SAS, Agrocampus Ouest / INRA, Rennes, France

Au cours d'une année hydrologique, les changements hydro-climatiques saisonniers entraînent une fluctuation de la nappe dans les sols de versant. Cette dynamique de nappe est responsable des changements de voie de circulation de l'eau dans les sols et par conséquent va intervenir dans les processus d'export des matières organiques dissoutes (MOD). A l'échelle d'un versant, la montée de la nappe pendant la période hivernale permet de connecter hydrologiquement l'horizon organique des sols de versant avec la rivière. L'observation des concentrations en carbone organique dissous (COD) à l'exutoire du bassin versant de Kervidy-Naizin a permis de mettre en évidence l'augmentation de la concentration en COD au moment de la montée de la nappe dans les versants puis une diminution progressive de ces concentrations (Aubert et al., 2013). Ces observations ont été interprétées comme la contribution à la rivière de MOD provenant des versants, rendu possible par l'établissement d'une connectivité hydraulique entre l'horizon de surface des sols de versants et la rivière, puis de l'épuisement progressif de ce réservoir de MOD.

Cette hypothèse a été testée sur le bassin versant de Kervidy-Naizin (Bretagne), un bassin versant de tête de 4,9 km² situé en contexte agricole et appartenant à l'ORE AgrHyS. Sur un versant disposant d'un réseau de piézomètres permettant de suivre la dynamique de nappe, des solutions de sol ont été prélevées toutes les deux semaines pendant deux années hydrologiques. Ces solutions de sol proviennent (i) de l'horizon organique des sols de versant où la nappe est proche de la surface pendant la période hivernale et (ii) de l'horizon organique des sols de la zone humide riparienne où la nappe atteint la surface pendant toute la saison hivernale. Comme suggéré par Lambert et al. (2014), l'analyse de la signature isotopique du carbone des MOD ($\delta^{13}\text{C}$) pourrait permettre de discriminer les MOD provenant des deux parties du versant et ainsi mettre en évidence le transfert d'un réservoir de MOD provenant du versant et son transport à travers la zone humide riparienne. En complément de ces analyses isotopiques, une analyse de la composition moléculaire des MOD par THM-GC-MS (hydrolyse et méthylation assistée par la température, chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse) a été réalisée.

Les résultats obtenus ont permis de confirmer l'utilisation du $\delta^{13}\text{C}$ comme traceur d'un transfert de versant. De plus, l'évolution du $\delta^{13}\text{C}$ observé sur les MOD prélevées en zone humides riparienne lors de la mise en place de la connectivité hydrologique semble cohérente avec l'hypothèse d'un transfert de versant. Les analyses moléculaires par THM-GC-MS ont permis d'identifier la possibilité d'utiliser la distribution moléculaire des lignines comme traceur d'un transfert de versant. En revanche, l'évolution saisonnière de la distribution moléculaire des lignines ne semble pas être liée à la mise en place de ce transfert de versant. La comparaison de ces données avec celles obtenues pendant des épisodes de crues (Denis et al. In press) semblent toutefois indiquer que les variations de composition moléculaire observées seraient liées à la mise en place de mécanismes de solubilisation différents.

- Denis et al., New molecular evidence for surface and sub-surface soil erosion controls on the composition of stream DOM during storm events. *Biogeosciences*, In press.
- Aubert et al., Solute transport dynamics in small, shallow groundwater-dominated agricultural catchments: insights from a high-frequency, multisolute 10 yr-long monitoring study. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 1379-1391, 2013
- Lambert et al., DOC sources and DOC transport pathways in a small headwater catchment as revealed by carbon isotope fluctuation during storm events. *Biogeosciences* 11, 3043-3056, 2014

Variation des émissions de composés organiques volatiles carbonylés dans différentes végétations de tourbière

Gogo, Sébastien^{1,2,3}, Poursat, Antoine^{4,5}, Aït Helal, Warda^{4,5}, Guimbaud, Christophe^{6,7}, Melhouki, Wahid^{4,5}, Laggoun-Défarge, Fatima^{1,2,3}

1 Université d'Orléans, ISTO UMR 7327, 45071 Orléans Cedex

2 CNRS, ISTO UMR 7327, 45071 Orléans Cedex

3 BRGM, ISTO UMR 7327, 45071 Orléans Cedex

4 Université d'Orléans, ICARE

5 CNRS, IICARE

6 Université d'Orléans, LPC2E

7 CNRS, LPC2E

Les tourbières couvrent une faible surface des terres émergées, mais elles contiennent une quantité importante de C (entre 1/4 et 1/3 du C des sols mondiaux [1]). Le devenir de ce stock sous les effets des changements globaux est incertain. Pour réduire les incertitudes, l'estimation du bilan de C de ces écosystèmes doit être affinée. Les flux CO₂ et de CH₄ sont très étudiés. En revanche, les mesures de flux de composés organiques volatiles (COV) sont plus rares. De plus, les tourbières boréales et tempérées sont majoritairement couvertes de mousses très efficaces pour le stockage du C : les sphaignes. Sous les effets des changements climatiques, la végétation des tourbières se modifie avec une augmentation du recouvrement des espèces graminoides et/ou des éricacées au détriment des sphaignes. L'objectif de cette étude est de mesurer les flux de COV encore peu étudiés, les COV carbonylés [2], dans des mésocosmes de tourbes contenant des végétations différentes : sphaigne (mousse), molinie (graminoïdes) et la bruyère à quatre angles (éricacées), pour 1) mettre en évidence des différences en terme de quantité et de qualité de COV et 2) estimer la sensibilité de ces flux à la température. Pour ce faire, des échantillons de tourbe avec une végétation dominée par 1) la bruyère à quatre angle, 2) la molinie et 3) la sphaigne (3 répliquas de chaque) ont été prélevés. Dans des chambres fermées, l'air pur a été injecté et une fois passé dans la chambre a circulé dans une cartouche de DNPH pour piéger les COV carbonylés. Au laboratoire, ces composés sont analysés par UHPLC-MS. Les résultats ont montré que la végétation dominée par la bruyère à quatre angles et la molinie émettent plus de COV carbonylés que la sphaigne. Sur une journée de mesure, le flux total de COV carbonylés est 2 à 4 ordres de grandeur plus faible que le flux de méthane. Les COV carbonylés les plus abondants sont le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, l'acétone et le butanone. Les proportions relatives ne sont pas les mêmes : la molinie émet plus d'acétone et la bruyère à quatre angles émet plus d'acétaldéhyde. Bien que réalisé sur un nombre de points limités, le flux d'acétaldéhyde dans les échantillons avec la bruyère à quatre angles est plus sensible à la température que pour les autres végétations.

Du fait des changements de végétation de ces écosystèmes et de l'augmentation de la température de l'air, notre étude préliminaire suggère que les flux de COV carbonylés pourraient augmenter dans le cas d'une augmentation de la bruyère à quatre angles. De plus, c'est dans ce type de végétation que la proportion de COV carbonylés par rapport aux autres flux de C est la plus importante. Compte tenu du fait que ces composés ne sont pas les COV les plus abondants, on peut émettre l'hypothèse que les COV totaux contribuent de manières significatives aux bilans de C. Pour vérifier cela, les autres COV (isoprène, terpènes) seront mesurés pour quantifier leur contribution au bilan et déterminer leur sensibilité aux facteurs environnementaux.

[1] Gorham E, 1991, DOI : 10.2307/1941811

[2] Faubert et al., 2010, DOI : 10.1016/j.atmosenv.2010.07.039

Est-ce possible pour les sols agricoles d'agir à la fois comme puit de carbone et source d'azote ?

Samson, Marie-Élise^{1,2,3}; Chantigny, Martin²; Angers, Denis²; Menasseri-Aubry, Safya³; Vanasse, Anne¹

1 Université Laval, Département de phytologie, 2425 rue de l'Agriculture, Québec, QC, Canada, G1V 0A

2 Agrocampus Rennes, UMR 1069, Vie Agro Santé, F-35000 Rennes, France

3 Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boulevard Hochelaga, Québec, Québec, G1V 2J3, Canada

Dans un contexte de changements climatiques, la communauté scientifique s'intéresse à la capacité des sols agricoles à stocker du carbone pour compenser l'émission anthropogénique de gaz à effet de serre (Paustian et al., 2016). Or, la matière organique qui contient ce carbone contient également de l'azote organique (Janzen, 2006) dont la minéralisation peut constituer la principale source d'azote pour les plantes (Nyiraneza et al., 2010). Le débat concernant le couplage ou le découplage des cycles du carbone et de l'azote du sol est plus que jamais d'actualité. L'étude des mécanismes d'accumulation de ces éléments dans les différentes fractions de la matière organique du sol puis de leur restitution pourrait contribuer à y voir plus clair.

L'objectif de ce projet est d'approfondir nos connaissances sur les mécanismes impliqués dans le stockage du carbone au sein des différents compartiments de la matière organique du sol et la minéralisation de l'azote organique dans le but de mieux caractériser l'impact des pratiques agricoles sur les services écologiques et agronomiques des sols. Cet objectif sera atteint grâce aux données acquises, sur 8 années, dans une expérimentation agronomique factorielle mise en place en 2009 au Québec qui compare, sur deux types de sols, 1) le type de travail du sol, 2) la source fertilisante (engrais sans azote (PK), engrais minéral (NPK), lisier de bovin, lisier de porc et fumier de volaille) et 3) la gestion des résidus de récolte sous une rotation blé-maïs-soya.

Les résultats préliminaires indiquent que les sols fertilisés avec des engrais organiques offrent des rendements semblables à l'engrais minéral dans la culture du blé, mais pas dans le maïs-grain. Sans avoir d'effet significatif sur les stocks totaux de carbone et d'azote du sol, le type d'engrais utilisé a eu une influence évidente sur les formes dominantes de matière organique. Les amendements organiques ont engendré une biomasse microbienne plus élevée que les engrais minéraux et le traitement contenant de l'azote minéral a engendré une biomasse microbienne significativement inférieure à celle du témoin minéral sans azote. Le type d'engrais a également influencé le rapport C/N de la biomasse microbienne. Ce rapport était le plus élevé dans le traitement minéral avec azote, intermédiaire dans le témoin minéral sans azote et le plus faible dans les traitements avec amendements organiques, laissant penser à une accumulation de matière organique relativement disponible dans ces derniers traitements. Ceci est en accord avec les résultats de Maillard et al. (2015) qui ont démontré un enrichissement en matière organique à faible rapport C/N de certains complexes organo-minéraux, suite à une application récurrente de lisier de bovin. Au cours de l'année 2018, des essais d'incubation, de traçage isotopique et de fractionnement physique de la matière organique devraient permettre d'évaluer l'effet des différentes pratiques agricoles sur l'accumulation d'azote et de carbone organiques au sein des différentes fractions de la matière organique du sol et la restitution d'azote et de carbone sous forme minérale. Ultiment, ce projet devrait permettre de proposer un modèle conceptuel conciliant la dualité « accumulation de carbone – restitution de l'azote ».

- Janzen, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil biology and biochemistry*. 38: 419-424.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., et Smith, P. 2016. Climate-smart soils. *Nature*. 532: 49-57.
- Maillard, E., Angers, D.A., Chantigny, M., Bittman, S., Rochette, P., Lévesque, G., Hunt, D. et Parent, L.E. 2015. Carbon accumulates in organo-mineral complexes after long-term liquid dairy manure application. *Agriculture, ecosystems and environment*. 202: 108-119.
- Nyiraneza, J., Chantigny, M.H., N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M.R. 2010. Long-term manure application and forages reduce nitrogen fertilizer requirements of silage corn – cereal cropping systems. *Agronomy Journal* 102:1244-1251.

La biogéochimie du cycle du carbone dans les régions subarctiques (les lacs thermokarstiques)

Shirokova, Liudmila S.^{1,2}; Manasyrov R.M. ²; Ivanova, I.S.²; Zabelina, S.A.²; Chupakov, A.V.²; Shorina, N.V.²; Payandi-Rolland, Dahedrey¹; S.N. Kirpotin³; Pokrovsky, O.S.¹

1 *Géosciences Environnement Toulouse, Université de Toulouse 3, CNRS-IRD-OMP, Toulouse, France*

2 *N.P. Laverov Centre fédéral de recherche pour des études intégrées sur l'Arctique, Arkhangelsk, Russie*

3 *BIOGEOCLIM, Tomsk, Russie*

Parmi les différentes régions de monde, les zones boréales représentent un des plus importants réservoirs de carbone organique (CO) sous forme de tourbières ou de sols très riches en matière organique. La libération du CO et des métaux en trace associés durant le dégel du permafrost, induite par le réchauffement climatique, constitue le principal changement que subit ce milieu et le principal enjeu scientifique et environnemental. L'augmentation continue du débit des rivières arctiques au cours des dernières décennies, combinée à la libération du carbone et des métaux piégés dans le permafrost, est susceptible de modifier les flux d'éléments vers les océans, mais aussi la spéciation de ces derniers dans les eaux de rivière ou les solutions de sol. Aujourd'hui, il existe très peu d'études en microbiologie environnementale dans les zones de haute latitude, notamment dans les régions arctiques et subarctiques, les plus susceptibles d'être affectées par le réchauffement global. Beaucoup de processus géochimiques et microbiologiques s'y déroulent dans des lacs thermokarstiques de tailles variables, se formant souvent suite au dégel du pergélisol (Pokrovsky et al., 2011 ; Shirokova et al., 2009, 2015, 2017). Nous avons conduit depuis les 10 dernières années des études, de terrain dans une zone à tourbe gelée située en Russie, mais aussi des expérimentations en laboratoire afin de définir les facteurs biologiques et physico-chimiques contrôlant (i) la transformation de la matière organique dissoute (MOD) dans les eaux des lacs thermokarstiques et (ii) le flux de CO₂ vers l'atmosphère (Manasyrov et al., 2014 ; 2015 ; Pokrovsky et al., 2011). Les processus de production, accumulation, piégeage et relargage de carbone contrôlés par la production primaire / minéralisation de la biomasse planctonique et du CO dissous (boucle microbienne) sont les vecteurs de première importance qui contrôlent l'accumulation de carbone et le relargage de CO₂ vers l'atmosphère. De plus, la plupart des métaux toxiques (Cd, Pb), des oligoéléments (Fe, Cu, Zn) et des traceurs géochimiques (REE, Th, U) y sont complexés avec la MOD d'origine autochtone (exsudats phytoplanctoniques) ou allochtone (lessivage de sol et produits de dégradation de litière) et ainsi associés aux colloïdes fer-organiques. D'après nos résultats, acquis dans la zone de pergélisol (Sibérie occidentale et Russie européenne), il existe une relation assez complexe entre la surface des lacs et la concentration de CO₂ (méthane, COD et métaux) dans la colonne d'eau. Bien que toutes les eaux des lacs soient fortement sursaturées en CO₂ par rapport à l'atmosphère, la concentration de gazes à effet de serre (GES) et métaux dissout augmentent très fortement dans le domaine des très petits lacs ayant une surface < 100-1000 m². Ces objets aquatiques, absents sur les cartes topographiques et quasiment invisibles via les techniques de télédétection sont pourtant très importants dans la régulation du CO₂; en effet, d'après la plupart des scénarios de réchauffement, du fait du drainage des grands lacs par le réseau hydrographique, ces petits lacs, qui apparaîtront, conserveront la surface totale de toundra couverte par l'eau. Ces changements peuvent mener à l'augmentation (d'un facteur 3 à 10) des modèles prédictifs d'émission de GES.

Remerciements. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet RSCF (RNF) grant No 15-17-10009.

- Manasypov, R., Pokrovsky, O., Kirpotin, S., Shirokova, L., 2014. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia. *The Cryosphere* 8, 1177–1193.
- Manasypov, R.M., Vorobyev, S.N., Loiko, S.V., Kritzkov, I.V., Shirokova, L.S., Shevchenko, V.P., Kirpotin, S.N., Kulizhsky, S.P., Kolesnichenko, L.G., Zemtsov, V.A., Sinkinov, V.V., Pokrovsky, O.S., 2015. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia. *Biogeosciences* 12, 3009–3028. doi:10.5194/bg-12-3009-2015.
- Pokrovsky, O.S., Shirokova, L.S., Kirpotin, S.N., Audry, S., Viers, J., Dupré, B., 2011. Effect of permafrost thawing on organic carbon and trace element colloidal speciation in the thermokarst lakes of western Siberia. *Biogeosciences* 8, 565–583. doi:10.5194/bg-8-565-2011.
- Shirokova, L.S., Pokrovsky, O.S., Kirpotin, S.N., Dupré, B., 2009. Heterotrophic bacterio-plankton in thawed lakes of the northern part of Western Siberia controls the CO₂ flux to the atmosphere. *International Journal of Environmental Studies* 66, 433–445. doi:10.1080/00207230902758071.
- Shirokova, L.S., Kunhel, L., Rols, J.-L., Pokrovsky, O.S., 2015. Experimental Modeling of Cyanobacterial Bloom in a Thermokarst Lake: Fate of Organic Carbon, Trace Metal, and Carbon Sequestration Potential. *Aquat Geochem* 21, 487–511. doi:10.1007/s10498-015-9269-8.
- Shirokova, L.S., Bredoire, R., Rols, J.-L., Pokrovsky, O.S., 2017. Moss and Peat Leachate Degradability by Heterotrophic Bacteria: The Fate of Organic Carbon and Trace Metals. *Geomicrobiology Journal* 34, 641–655. doi:10.1080/01490451.2015.1111470.

POSTERS

MO et cycles biogéochimiques

P-35. Impact des Phosphates sur l'aromaticité de la matière organique dissoute chromophore en lacs artificiels

Blottière, Lydie; Rochelle-Newall, Emma et le consortium du Projet « Colombe »

IEES-Paris (IRD, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, INRA, UPEC, Université Paris Diderot), CC237, 4 place Jussieu, 75005, Paris, France. Email : emma.rochelle-newall@ird.fr / lydie.blottiere@yahoo.fr.

Bien que les impacts de l'eutrophisation sur la biodiversité aquatique soient relativement bien connus, les effets sur la qualité de la matière organique dissoute (MOD) sont moins étudiés malgré son rôle central dans la structuration des processus microbiens. Au sein de cette MOD, on distingue la MOD chromophore (« CDOM » en anglais) qui correspond à la fraction capable d'absorber la lumière UV et visible. Ainsi, des différences de capacités d'absorption ou de fluorescence du CDOM pourraient indiquer une altération de la quantité et/ou la qualité du COD présent. Dans cette étude, nous avons testé l'impact de l'eutrophisation sur les propriétés optiques (absorption et fluorescence) du CDOM dans un système expérimental de 16 lacs artificiels (Plateforme Planaqua, UMS CEREEP) dont la moitié ont reçu un apport successif de Phosphates (+ 100 μM final) au Printemps-Eté 2015. Un patron saisonnier caractéristique des lacs tempérés a été observé pour la dynamique du COD avec une augmentation au Printemps - Eté, puis une reminéralisation du COD en période Automne-Hiver, quel que soit l'état nutritionnel. De plus, malgré l'absence de différence significative entre les lacs pour les teneurs en COD, nous avons mis en évidence des différences frappantes pour les paramètres optiques du CDOM normalisés par la teneur en COD. Par exemple, une augmentation significative de l'absorption (SUVA_{254} à 254 nm) normalisée aux teneurs en COD dans les lacs enrichis, ce qui était également le cas pour la fluorescence ($\text{ex}350/\text{em}450$) normalisé au carbone (NFIU*). Ainsi, nous observons que même de petits changements dans la disponibilité du P peuvent induire des changements significatifs dans la qualité de la MOD, pouvant engendrer des effets en cascade sur le réseau trophique, avec l'hypothèse que la fraction CDOM plus aromatique serait moins biodisponible pour les processus microbiens. Ces résultats suggèrent également que la « brownification » (augmentation de l'absorption du CDOM) observée dans les lacs dans le Nord de l'Europe puisse être partiellement due à des modifications des apports en nutriments dans les lacs combinées à une augmentation des apports de C et de particules des bassins versants.

P-36. Variabilité temporelle de l'effet des pratiques agricoles sur les matières organiques dissoutes des sols et des eaux de rivière

Humbert, Guillaume; Parr, Thomas B. ; Jeanneau, Laurent; Dupas, Rémi; Petitjean, Patrice; Akkal-Corfini, Nouraya; Viaud, Valérie; Pierson-Wickmann, Anne-Catherine; Denis, Marie; Inamdar, Shreeram; Gruau, Gérard; Durand, Patrick; Jaffrézic, Anne

1 Université Rennes 1, CNRS, EcoBio, UMR6553, Rennes, France

2 Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, Institute of Ecology and Environmental Sciences (IEES), Paris

3 Department of Biology, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, USA

4 CNRS, Géosciences Rennes, UMR 6118, Campus de Beaulieu, Rennes, France

5 INRA, Agrocampus Ouest, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, UMR1069, Rennes, France

6 Plant and Soil Sciences, University of Delaware, Newark, Delaware, USA

En contrôlant l'occupation et la gestion des sols, les activités agricoles modifient la quantité et la composition des matières organiques dissoutes (MOD)¹. La majorité des MOD exportées à l'exutoire des têtes de bassins versants proviennent des sols connectés à la rivière par la nappe². Mais les effets combinés de la gestion des sols et des processus hydrologiques saisonniers et événementiels sur les dynamiques temporelles de la concentration et de la composition des MOD sont encore mal caractérisés à l'échelle du paysage. Les concentrations en carbone organique dissous ([COD]) et les propriétés spectroscopiques d'absorbance et de fluorescence des MOD ont été analysées dans des solutions de sols agricoles, de zones humides ripariennes enherbées ou boisées, dans des eaux de ruissellement impactées par des amendements organiques, ainsi que dans la rivière. Ces MOD ont été suivies durant une année hydrologique (2013-2014) par des prélèvements hebdomadaires à bimensuels. Sept événements de crue ont été étudiés à une fréquence infra-horaire. L'analyse parallèle des facteurs (PARAFAC) réalisée sur les matrices de fluorescence de plus de 700 échantillons a modélisé cinq fluorophores. Ces fluorophores, des indices spectroscopiques (SUVA₂₅₄, HIX, FI, $\beta : \alpha$) et les [COD] ont permis la caractérisation des MOD prélevées. Des analyses en composantes principales (ACPs) ont permis de suivre l'évolution temporelle des propriétés des MOD des solutions de sols et d'évaluer la variation de leur contribution aux MOD exportées par la rivière. Cinq principaux résultats ont été mis en évidence : i) les solutions des sols cultivés présentent des [COD] inférieures ($6,4 \pm 5,6$ mg l⁻¹) à celles des sols des zones ripariennes enherbées et boisées (respectivement $22,4 \pm 13,7$ mg l⁻¹ et $17,2 \pm 9,9$ mg l⁻¹). ii) la proportion de composés organiques fluorescents dérivant de l'activité microbienne décroît selon le gradient sols agricoles > sols ripariens enherbés > sols ripariens boisés. iii) L'ACP réalisée sur les caractéristiques des MOD fluorescentes des solutions des sols suggère une lixiviation préférentielle des composés organiques identifiés comme faiblement aromatiques et dérivés de l'activité microbienne. iv) L'ACP réalisée sur les MOD fluorescentes de la rivière indique un transfert accru des MOD depuis les sols cultivés suite à la recharge hivernale de la nappe. v) Les crues suivant les épandages d'amendements organiques sont des périodes critiques de transfert de composés organiques dérivés de ces amendements et possédant une signature fluorescente de type protéique. De par leur composition, les MOD des sols cultivés auraient donc un potentiel à être transférées à la rivière supérieur à celui des MOD des zones ripariennes non cultivées.

(1) Chantigny, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* **2003**, *113* (3–4), 357–380.

(2) Aitkenhead-Peterson, J. A.; McDowell, W. H.; Neff, J. C. 2 - Sources, Production, and Regulation of Allochthonous Dissolved Organic Matter Inputs to Surface Waters A2 - Findlay, Stuart E.G. In *Aquatic Ecology*; Sinsabaugh, R. L. B. T.-A. E., Ed.; Academic Press: Burlington, 2003; pp 25–70.

P-37. Détermination des sources de MO particulaire exportée pendant des crues le long d'un bassin versant de tête : développement de l'empreinte moléculaire

Jeanneau, Laurent¹; Rowland, Richard²; Inamdar, Shreeram²

1 OSUR, UMR 6118 Géosciences Rennes, Université de Rennes 1 – CNRS, Rennes, France

2 Water Science & Policy Graduate Program, University of Delaware, Newark, USA

La détermination des sources de matière organique particulaire (MOP) exportée depuis les bassins versants de tête est primordiale pour comprendre les transferts d'énergie des sols vers les océans. Différentes méthodes existent pour identifier les sources des particules et des MOP telles que l'utilisation d'isotopes cosmogéniques et radiogéniques, des éléments traces, des teneurs en carbone et azote ainsi que de leurs isotopes stables et des biomarqueurs moléculaires. Dans cette étude, l'intérêt de la thermochimie à l'hydroxyde de tétraméthylammonium couplée à la GC-MS est étudié.

Le travail a été effectué dans le bassin versant (BV) de Fairhill, sur la côte est des États-Unis d'Amérique. Deux stations ont été suivies dans ce BV de tête à 12 et 79 ha. Les empreintes moléculaires de sept sources potentielles ont été déterminées incluant la litière, un sol sous forêt, la zone humide vicinale, un sol de haut de versant en prairie, l'horizon de surface et l'horizon profond (50 cm) des berges et enfin le sédiment, et ce de manière à couvrir l'hétérogénéité du bassin. Les particules exportées pendant quatre crues hivernales ont été piégées via deux échantillonneurs intégrant la totalité des événements. Les particules ont ensuite été fractionnées en taille. L'empreinte moléculaire de ces fractions a été déterminée, puis les résultats ont été interprétés en terme de sources par comparaison des distributions relatives via l'utilisation d'outils statistiques (analyse en composante principale et classification ascendante hiérarchique). Enfin les résultats ont été comparés à ceux obtenus précédemment sur les mêmes échantillons via des analyses élémentaires (%C, %N) et isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). La concordance entre ces deux types d'analyse souligne la valeur de l'outil moléculaire pour déterminer les sources de MOP.

Les litières sont la principale source de MOP exportée dans la partie amont (80 ± 14 %) avec une augmentation de la proportion de sédiments remobilisés dans la partie aval (42 ± 29 %), spécifiquement pendant les crues caractérisées par de forts cumuls de pluie. Dans la partie amont, la répartition des sources de POM semble contrôlée par le maximum et la médiane des intensités de précipitations (mm/h). Une valeur ajoutée de cette méthode analytique est de se baser sur des biomarqueurs moléculaires. Il est alors possible d'extraire de leur distribution des informations sur le fonctionnement biogéochimique d'un écosystème. Dans ce BV, la distribution des biomarqueurs végétaux caractéristiques des lignines, cutines et subérines étaient similaires dans le sédiment du lit de la rivière et dans la litière, alors que les proportions de marqueurs microbiens étaient 4 fois supérieures dans le sédiment que dans la litière. Ces résultats soulignent que la MO sédimentaire est largement issue de la litière des plantes qui a été utilisée comme source d'énergie par les organismes aquatiques.

P-38. Stimulation et maîtrise électrochimique de la biodégradation de la matière organique en milieux aquatiques

Jobin, Lucas¹; Breil, Pascal²; Namour, Philippe¹

1 UR Milieux Aquatiques, IRSTEA centre de Lyon-Villeurbanne, France ; LucasJobin@irstea.fr

2 UR hydrologie-Hydraulique, IRSTEA centre de Lyon-Villeurbanne, France

Le changement global (réchauffement climatique, croissance démographique, urbanisation, artificialisation des sols) transforme profondément les hydro-systèmes et notamment augmente les rejets d'eaux usées entraînant de graves problèmes sanitaires et environnementaux: a) Émission de gaz toxiques (hydrogène sulfuré, H₂S) ou nocifs (méthane, CH₄) des réseaux d'égouts]; b) ruissellements urbains des surfaces imperméables directement déversés dans les cours d'eau par les déversoirs d'orage sans aucun traitement. Des quantités de matières organique se déversent ainsi dans les rivières, où se elles concentrent dans les sédiments et provoquent une anoxie rapide et la production de CH₄ et H₂S.

Cette communication décrit une nouvelle technologie (l'électro-bio-remédiation) de contrôle et de stimulation des microorganismes impliqués dans la biodégradation de la MO dans les sédiments et sols hydromorphes. Elle est issue des piles à combustible microbiennes sédimentaires et consiste à évacuer les électrons provenant des chaînes respiratoires microbiennes au moyen d'une anode à potentiel fixe et assurer la respiration aérobie des populations microbiennes aérobies en milieux anaérobies. Nous partons des bases conceptuelles de cette technologie, puis décrivons les dispositifs matériels utilisés (montages et espacements d'électrodes) mises en œuvre.

Nous finirons par les résultats obtenus au moyen d'une biopile de laboratoire (potentiel d'anode imposé à +300 mV vs Ag/AgCl), montrant possibilité d'abaisser significative de 22%, l'empreinte carbone de la biodégradation de la MO. Après une étape intermédiaire d'évaluation et dimensionnement canal hydraulique stimulant le fonctionnement d'une zone hyporhéique, l'objectif final est de l'appliquer au milieu poreux d'un cours d'eau pollué par des rejets de MO.

P-39. Les taux de dénitrification dans les zones humides riveraines de la Seine sont influencés par la quantité de carbone plutôt que par la qualité

Laverman, Anniet¹; Anquetil, Christelle²; Derenne, Sylvie²

1 UMR 6553 Ecobio, Université Rennes 1, CNRS, Rennes

2 UMR 7619 Metis UPMC, CNRS, Paris

La dénitrification benthique dans les zones riveraines ou dans les zones humides adjacentes de la Seine pourrait améliorer considérablement la qualité de l'eau. Le but de cette étude était d'étudier le potentiel de dénitrification et les facteurs affectant les taux de dénitrification *in situ* en mettant l'accent sur le rôle de la matière organique. Nous avons mesuré les potentiels de dénitrification dans les sédiments prélevés sur quatre sites le long de la Seine au cours de trois saisons différentes. Les caractéristiques sédimentaires (C_{org} , rapport C: N, teneur en carbone biodisponible et contenu de chlorophylle) ont été déterminées et la matière organique sédimentaire analysée au niveau moléculaire (résonance magnétique nucléaire ^{13}C , pyrolyse couplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la spectrométrie de masse).

Les taux de dénitrification ont montré de grandes variations spatiales et saisonnières et étaient significativement corrélés avec les concentrations de chlorophylle sédimentaire, qui ont probablement servi de source de carbone pour ce processus. L'ajout de carbone, sous forme de molécules organiques simples (acétate, lactate) ou de biomasse séchée (roseau ou algue) augmente les taux de dénitrification, indiquant une forte limitation en carbone dans ces sédiments et une absence de discrimination contre la source de carbone. Ce dernier a été confirmé par l'examen de la structure moléculaire de la matière organique sédimentaire de quatre sites. De plus, l'incubation des sédiments pendant deux mois dans des conditions dénitrifiantes n'a pas induit de modification détectable de la structure chimique de la matière organique.

P-40. Utilisation de variables liées aux propriétés des sols et aux pratiques agricoles pour prédire le potentiel de minéralisation de l'azote

Petitjean, Caroline^{1,2}; Philibert, Aurore²; Manneville, Vincent²; Amiaud, Bernard³; Piutti, Séverine¹

- 1 UMR 1121 Agronomie et Environnement, Université de Lorraine-INRA, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54518 Vandœuvre-lès-Nancy
- 2 Institut de l'Élevage Maison Nationale des Éleveurs - 149 Rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12
- 3 UMR 1173 Ecologie et Ecophysiologie Forestières, Université de Lorraine-INRA, Campus des Aiguillettes, Faculté des Sciences et Technologie, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

Les matières organiques du sol (MOS) sont le pilier des fonctions physiques (stabilité structurale, rétention d'eau), chimiques (capacité d'échange, pouvoir tampon) et biologiques (source d'énergie et de nutriments pour les organismes vivants) des sols. Néanmoins, la connaissance de ces MOS, tant du point de vue de leur nature chimique que de leur devenir dans les sols, sous contrôle de facteurs biotiques et abiotiques, reste encore que peu détaillée (Wander, 2004). Les microorganismes du sol sont des acteurs majeurs de la dynamique des MOS de par leurs rôles dans les fonctions de stabilisation et de décomposition des MOS. Plus précisément, les microorganismes hétérotrophes synthétisent, pour répondre à leurs besoins nutritifs, plusieurs classes d'enzymes qui participent à la décomposition des MOS (Schimel et Weintraub 2003, Moorhead et Sinsabaugh 2006). Le niveau de synthèse de ces enzymes dépend à la fois de facteurs biotiques (abondance et diversité des communautés microbiennes) et de facteurs abiotiques tels que la quantité et la qualité des MOS, la disponibilité des éléments minéraux, le pH... Dans les agroécosystèmes, outre ces facteurs, la décomposition des MOS et, de ce fait, la fourniture potentielle par le sol d'éléments minéraux pour les plantes cultivées, sont fortement influencées par les pratiques agricoles mises en œuvre dans les systèmes de culture. L'objectif de l'étude est de prédire par une approche de type Partial Least Squares (PLS) les flux nets de minéralisation de l'azote par des variables physico-chimiques (teneur en argile, pH, Capacité d'Échange Cationique, teneurs en carbone (C) organique et en azote (N) total), microbiennes (biomasse microbienne carbonée et activités enzymatiques en lien avec les cycles C et N). Les informations concernant les pratiques agricoles (diversité de culture, travail du sol, fertilisations minérale et organique...) ont été recueillies pour les 5 campagnes précédant les prélèvements de sols. Les premiers résultats ont montré que les paramètres physico-chimiques, notamment le pH, ont une plus forte influence sur les flux nets de minéralisation de l'azote que les variables microbiennes et que les pratiques agricoles étudiées.

Moorhead, D.L.; Sinsabaugh, R. L. 2006. A theoretical model of litter decay and microbial interaction. *Ecological Monographs* 76: 151–174.

Schimel, JP; Weintraub, MN. 2003. The implications of exoenzyme activity on microbial carbon and nitrogen limitation in soil: a theoretical model. *Soil Biology and Biochemistry* 35 (4), 549-563

Wander, M.M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. p. 67–102. In F. Magdoff and R. Weil (ed.) *Advances in agroecology*. CRC Press, Boca Raton, FL.

P-41. Land use and agricultural practices drive C-mineralization activities through bacterial biomass and key fungal families in Madagascar Highlands

Razanamalala, Kanto¹; Razafimbelo, Tantely¹; Maron, Pierre-Alain²; Ranjard, Lionel²; Chemidlin, Nicolas²; Dequiedt, Samuel³; Deffontaines, Sylvain⁴; Becquer, Thierry^{1,5}; Trap, Jean^{1,5}; Blanchart, Eric^{1,5}; Bernard, Laetitia^{1,5}

- 1 Laboratoire des Radio-Isotopes, BP 3383, Route d'Andraisoro, 101 Antananarivo, Madagascar
- 2 INRA, UMR1347 Agroécologie, BP 86510, 21000 Dijon, France
- 3 INRA, Plateforme GenoSol, UMR1347 Agroécologie, BP 86510, F-21000 Dijon, France
- 4 Agrisud International à Madagascar, BP 6028, 101 Antananarivo, Madagascar
- 5 Eco&Sols, IRD, INRA, CIRAD, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, Montpellier, France

Augmenter la séquestration du carbone dans les sols agricoles des pays en développement comme Madagascar permettrait, tout en luttant contre le changement climatique, d'améliorer leur fertilité. Ce challenge est d'autant plus important que les sols des régions tropicales sont plus vulnérables aux variations climatiques et que leur fertilisation se fait principalement par des amendements organiques d'origines variées. Le priming effect (PE) est la stimulation de la minéralisation de la matière organique du sol (MOS) par un apport en matière organique fraîche (MOF). Il est généré par différents mécanismes qui ciblent des pools de MOS d'âges différents et n'impliquent pas les mêmes acteurs microbiens. Le PE généré par décomposition stœchiométrique, est la stimulation de la décomposition d'une MO récente. Il peut donc être considéré comme une stimulation de la voie de l'humification et donc de la stabilisation biochimique du C dans les sols. Ce processus pourrait donc être un indicateur de prédisposition d'un sol à séquestrer la matière organique. L'objectif de cette étude était de mettre en évidence les déterminants biotiques et abiotiques de ce processus dans les sols cultivés et de les relier à différents usages et pratiques. Des échantillons de sols ont été prélevés sur un réseau de parcelles d'agriculteurs dans une petite région agricole des Hauts Plateaux de Madagascar. Différents paramètres physicochimiques et biologiques ont été mesurés, incluant la composition des communautés bactériennes et fongiques par pyroséquençage. Les sols ont ensuite été incubés en présence ou non de paille de blé enrichie en ¹³C, afin de mesurer leur capacité à générer du PE à 7 jour d'incubation, qui d'après une précédente étude correspondait à un PE généré par décomposition stœchiométrique (Razanamalala *et al.*, 2017). Le PE était bien positivement corrélé à la teneur en NO₃⁻ de la solution du sol mais également très fortement à la biomasse microbienne et à la densité génétique de quelques familles fongiques que nous avons qualifiées de décomposeurs de MOS. Les pratiques agricoles étudiées n'ont généralement pas présenté de corrélations directes avec le PE, mis à part la culture de céréales en contre-saison qui présentait un effet négatif sur le PE. Cependant, un effet indirect pouvait être envisagé au travers de certains paramètres physicochimiques impactant la biomasse microbienne. C'était particulièrement le cas de la fertilisation au compost qui permettait de conserver l'humidité du sol et d'apporter du NH₄⁺, favorisant ainsi la biomasse microbienne.

Ce travail fait partie du projet CAMMiSoIE (Effet du Changement global en Afrique de l'ouest et à Madagascar sur la diversité des Microorganismes du Sol et ses conséquences sur les services Ecosystémiques) financé par la fondation pour la Recherche sur la biodiversité (FRB), dans le cadre du programme Scénario de la Biodiversité en Afrique Subsaharienne.

Razanamalala K., Razafimbelo T., Maron P.A., Ranjard L., Chemidlin N., Lelièvre M., Dequiedt S., Marsden C., Trap J., Becquer T., Blanchart E. & Bernard L. Microbial diversity drives Priming effect along climate gradients of the Madagascar Highlands. ISME J 2017; in press.

P-42. Le Priming effect généré par décomposition stœchiométrique et extraction des nutriments dans les sols cultivés tropicaux : acteurs et déterminants

Razanamalala, Kanto¹; Fanomezana, Rota Andrea¹; Razafimbelo, Tantely¹; Chevallier, Tiphaine²; Trap, Jean³; Blanchart, Eric³; Bernard, Laetitia³

1 Laboratoire des Radio-Isotopes, BP 3383, Route d'Andraisoro, 101 Antananarivo. Madagascar

2 IRD, UMR 210 Eco&Sols, 2 place Viala Bt12, Montpellier Cedex 1, 34060, France.

3 IRD, UMR 210 Eco&Sols, Laboratoire des Radio-Isotopes, BP 3383, Route d'Andraisoro, 101 Antananarivo, Madagascar

Il est maintenant admis que le priming effect (PE), stimulation de la minéralisation de la matière organique du sol (MOS) induite par un apport de carbone frais, résulte de deux mécanismes différents (Fontaine et al., 2003). Le premier, qualifié de décomposition stœchiométrique, correspond à la libération des enzymes extracellulaires par les microorganismes spécialisés dans la décomposition de la matière organique fraîche (MOF). Ces enzymes vont aider également à décomposer une MOS dont la structure est relativement proche de la MOF apportée. Le deuxième, correspond à l'utilisation de la MOF comme source d'énergie par les microorganismes qui décomposent la MOS en voie de stabilisation pour en extraire les nutriments dont elle est fortement enrichie (Chen et al., 2014). Chacun de ces mécanismes cible donc des pools de MOS d'âges différents et contribue donc respectivement soit à la stabilisation biochimique de la matière organique soit à l'inverse à son appauvrissement (Derrien et al. 2014). Comprendre comment piloter l'équilibre entre ces deux mécanismes pourrait avoir des intérêts importants en agroécologie, spécialement dans les pays du Sud où la gestion des matières organiques est le premier moyen de fertilisation des cultivateurs. L'objectif de cette étude était d'identifier les acteurs microbiens impliqués dans chacun des processus de génération du PE et de comprendre l'influence de 3 types de déterminants dans les sols malgaches : (1) la qualité du substrat qui induit le PE, (2) la qualité de la MOS et (3) le statut en nutriments du sol. Trois Ferralsols issus de parcelles cultivées, à différents niveaux d'une toposéquence et sous différents historiques culturaux, ont été choisis. Ces trois sols étaient caractérisés par des niveaux différents de disponibilité en NH_4^+ et PO_4^{3-} , des profils contrastés de fractionnement granulométrique de la MOS et de composition des communautés bactériennes. Ces 3 sols ont été amendés avec 3 types de substrats organiques enrichi en ^{13}C (glucose, résidus de blé et résidus de riz), qui a permis de mesurer le PE à deux temps d'incubation (7 et 42 jours). Les résultats ont montré que le PE généré par décomposition stœchiométrique était majoritairement induit par la fraction polymérisée des résidus de blé ou de riz, spécialement dans les sols déjà enrichis en NH_4^+ , et en microorganismes décomposeurs tels que les Verrucomicrobia, les α -, δ -Proteobacteria et les Actinomycetes. A l'inverse quand ce pool de MOS jeune était réduit, le PE était généré par des organismes à croissance lente (mineurs) pour extraire le N de la MOS en stabilisation. Cette extraction d'azote était plus fortement stimulée par un apport en carbone soluble comme le glucose mais était limitée par la disponibilité en P dans la solution du sol.

Ce travail fait partie du projet CAMMiSoIE (Effet du Changement global en Afrique de l'ouest et à Madagascar sur la diversité des Microorganismes du Sol et ses conséquences sur les services Ecosystémiques) financé par la fondation pour la Recherche sur la biodiversité (FRB), dans le cadre du programme Scénario de la Biodiversité en Afrique Subsaharienne.

- Chen, R., Senbayram, M., Blagodatsky, S., Myachina, O., Dittert, K., Lin, X., Blagodatskaya, E., Kuzyakov, Y., 2014. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories. *Glob. Change Biol.* 20, 2356–2367.
- Derrien, D., Plain, C., Courty, P.-E., Gelhaye, L., Moerdijk-Poortvliet, T.C.W., Thomas, F., Versini, A., Zeller, B., Koutika, L.-S., Boschker, H.T.S., Epron, D., 2014. Does the addition of labile substrate destabilise old soil organic matter? *Soil Biol. Biochem.* 76, 149–160.
- Fontaine, S., Mariotti, A., Abbadie, L., 2003. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biol. Biochem.* 35, 837–843.

P-43. Le cycle du carbone des lacs thermokarstiques de la toundra

« Bolshezemelskaya »

Shirokova, Liudmila S.^{1,2}; Ivanova, I.S.²; Zabelina, S.A.²; Chupakov, A.V.²; Manasyrov, R.M.²;
Payandi-Rolland, Dahedrey¹; Pokrovsky, O.S.¹

1 Géoscience Environnement Toulouse, Université de Toulouse 3, CNRS-IRD-OMP, Toulouse, France

2 N.P. Laverov Centre fédéral de recherche pour des études intégrées sur l'Arctique, Arkhangelsk, Russie

Le permafrost dans les régions boréales nord piège actuellement environ 1 700 Pg de carbone organique (CO) (Schuur et al., 2008), soit à peu près 50 % du CO global des sols (Tarnocai et al., 2009). La fonte du permafrost ainsi que la décomposition de la matière organique jusqu'alors gelée est l'un des feedbacks positifs les plus importants du changement climatique actuel. La toundra Bolshezemelskaya (BZT), située en Russie occidentale, est caractérisée par une forte abondance de lacs thermokarstiques dû à la fonte du permafrost et accélérée par le réchauffement climatique. Le climat de notre planète dépend en majorité des échanges gazeux entre les sols, les masses d'eau et l'atmosphère. Shirokova et al. (2009) montre qu'il existe, dans l'Ouest Sibérien, une évolution systématique des paramètres physico-chimique (COD, pH, éléments traces et activité biologique) des lacs ainsi que des proportions relatives des différents groupes de bactéries présentent en fonction du degré de maturation des lacs (développement des lacs thermokarstiques décrit par Pokrovsky et al. (2011)) pour un permafrost continue à discontinue. Dans ces lacs, les processus contrôlant le comportement du carbone incluent la dégradation hétéro-trophique de la matière organique dissoute allochtone (Shirokova et al., 2017) et la production primaire des cyanobactéries (Pavlova et al., 2016 ; Shirokova et al., 2015).

A partir de ce constat, le but de ce travail été de caractériser les régularités dans la distribution des composants dissous des masses d'eau de la BZT à différents stades de la maturation des lacs pour tracer la possible évolution de l'écosystème thermokarstique dans une région à permafrost discontinue.

Pour cela, les travaux ont été réalisés sur 3 sites d'études de la BZT. Le pH, la conductivité, la température de l'eau ainsi que l'oxygène dissout ont été mesuré sur place à l'aide d'analyseurs portatifs. Les échantillons d'eaux ont été filtrés puis les concentrations en ions chlorure et sulfates ainsi que le carbone organique dissout (COD) ont été mesurées. Un fractionnement du CO a aussi été réalisé grâce à des membranes de dialyses (1kDa) placé directement dans l'eau des lacs. Le nombre total de bactérioplancton ainsi que la biomasse bactérienne ont été déterminés. Tous ces résultats ont été comparés avec des études similaires menées sur le carbone des lacs de Sibérie Occidentale (Manasyrov et al., 2014, 2015, 2017 ; Polishchuk et al., 2017).

Dans l'ensemble, les résultats montrent qu'il existe certaines dépendances dans la répartition des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des plans d'eau thermokarstiques, en fonction de leurs maturations. Ainsi qu'une régularité dans la répartition de l'oxygène dissout et du COD en fonction de la maturation du plan d'eau et des espèces végétales dominantes. L'étude des concentrations des composants dissous des eaux des lacs thermokarstiques situés à différents stades de développement peut servir de base à la prédiction des changements de composition chimique des eaux le cadre du changement climatique.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet RSCF (RNF) grant No 15-17-10009.

Mots clés : toundra, lacs thermokarstiques, carbone organique dissout, permafrost

- Manasypov, R., Pokrovsky, O., Kirpotin, S., Shirokova, L., 2014. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia. *The Cryosphere* 8, 1177–1193.
- Manasypov, R.M., Vorobyev, S.N., Loiko, S.V., Kritzkov, I.V., Shirokova, L.S., Shevchenko, V.P., Kirpotin, S.N., Kulizhsky, S.P., Kolesnichenko, L.G., Zemtsov, V.A., Sinkinov, V.V., Pokrovsky, O.S., 2015. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia. *Biogeosciences* 12, 3009–3028. doi:10.5194/bg-12-3009-2015
- Manasypov, R.M., Shirokova, L.S., Pokrovsky, O.S., 2017. Experimental modeling of thaw lake water evolution in discontinuous permafrost zone: Role of peat, lichen leaching and ground fire. *Science of The Total Environment* 580, 245–257. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.12.067
- Pavlova, O.A., Pokrovsky, O.S., Manasypov, R.M., Shirokova, L.S., Vorobyev, S.N., 2016. Seasonal dynamics of phytoplankton in acidic and humic environment in thaw ponds of discontinuous permafrost zone. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 52, 47–60. doi:10.1051/limn/2016006
- Pokrovsky, O.S., Shirokova, L.S., Kirpotin, S.N., Audry, S., Viers, J., Dupré, B., 2011. Effect of permafrost thawing on organic carbon and trace element colloidal speciation in the thermokarst lakes of western Siberia. *Biogeosciences* 8, 565–583. doi:10.5194/bg-8-565-2011
- Polishchuk, Y.M., Bogdanov, A.N., Polishchuk, V.Y., Manasypov, R.M., Shirokova, L.S., Kirpotin, S.N., Pokrovsky, O.S., 2017. Size Distribution, Surface Coverage, Water, Carbon, and Metal Storage of Thermokarst Lakes in the Permafrost Zone of the Western Siberia Lowland. *Water* 9, 228. doi:10.3390/w9030228
- Schuur, E.A.G., Bockheim, J., Canadell, J.G., Euskirchen, E., Field, C.B., Goryachkin, S.V., Hagemann, S., Kuhry, P., Lafleur, P.M., Lee, H., Mazhitova, G., Nelson, F.E., Rinke, A., Romanovsky, V.E., Shiklomanov, N., Tarnocai, C., Venevsky, S., Vogel, J.G., Zimov, S.A., 2008. Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle. *BioScience* 58, 701–714. doi:10.1641/B580807
- Shirokova, L.S., Pokrovsky, O.S., Kirpotin, S.N., Dupré, B., 2009. Heterotrophic bacterio-plankton in thawed lakes of the northern part of Western Siberia controls the CO₂ flux to the atmosphere. *International Journal of Environmental Studies* 66, 433–445. doi:10.1080/00207230902758071
- Shirokova, L.S., Kunhel, L., Rols, J.-L., Pokrovsky, O.S., 2015. Experimental Modeling of Cyanobacterial Bloom in a Thermokarst Lake: Fate of Organic Carbon, Trace Metal, and Carbon Sequestration Potential. *Aquat Geochem* 21, 487–511. doi:10.1007/s10498-015-9269-8
- Shirokova, L.S., Bredoire, R., Rols, J.-L., Pokrovsky, O.S., 2017. Moss and Peat Leachate Degradability by Heterotrophic Bacteria: The Fate of Organic Carbon and Trace Metals. *Geomicrobiology Journal* 34, 641–655. doi:10.1080/01490451.2015.1111470
- Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E. a. G., Kuhry, P., Mazhitova, G., Zimov, S., 2009. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochem. Cycles* 23, GB2023. doi:10.1029/2008GB003327

P-44. Origine et dynamique de la matière organique dans l'estuaire de Seine : approche globale et moléculaire

Thibault, Alexandre¹; Huguet, Arnaud¹; Parlanti, Edith²; Anquetil, Christelle¹; Parot, Jérémie²; Micheau, Clara^{1,2}; Mourad, Harir³; Schmitt-Kopplin, Philippe³; Derenne, Sylvie¹

1 METIS, CNRS/UPMC/EPHE, Paris, France

2 EPOC-LPTC, CNRS/Univ. de Bordeaux, Talence, France MARUM / University of Bremen, Bremen, Germany

3 Helmholtz Zentrum München, Research Unit Analytical BioGeoChemistry, Neuherberg, Germany

Les estuaires sont des écosystèmes clefs d'un point de vue écologique et économique. Ceci est particulièrement le cas de l'estuaire de Seine, dont le bassin versant contient l'une des plus grandes mégaloïes d'Europe (région parisienne, 12 millions d'habitants), couvre 14 % du territoire français et représente 40 % de l'activité économique nationale. La qualité et la quantité de matière organique (MO) jouent un rôle clef sur la qualité de l'eau et les processus biogéochimiques en milieu estuarien. Il est donc essentiel de caractériser finement la MO dans ces écosystèmes qui conditionnent le transfert des substances naturelles et anthropiques des continents vers les océans. L'étude de la dynamique de la MO estuarienne reste particulièrement difficile de par la nature hétérogène et complexe de ce matériel et la forte variabilité des conditions environnementales dans les estuaires.

Le but de cette étude était de contraindre les sources et le devenir de la MO dans l'estuaire de Seine et d'examiner sa variabilité spatio-temporelle. Pour ce faire, 5 campagnes d'échantillonnage ont été effectuées tout au long de l'estuaire entre janvier 2015 et avril 2016. Des échantillons d'eau (ca. 100 L) et des carottes de sédiment (10 cm) ont été prélevés en amont, dans la zone la plus turbide (bouchon vaseux) et en aval de l'estuaire. Les échantillons d'eau ont été filtrés à 0,7 µm pour séparer la MO particulaire (MOP) de la MO dissoute (MOD) avant d'être concentrés et dessalés par osmose inverse et électrodialyse. Les caractéristiques globales et moléculaires de la MOP, MOD et MO sédimentaire ont été comparées, permettant d'accéder à la dynamique des différents compartiments de la MO le long de l'estuaire. La MO a été caractérisée en combinant des analyses (i) élémentaires et isotopiques (C/N ; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; ^{14}C de la MO), (ii) optiques (fluorescence 3D ; spectroscopie UV) et (iii) moléculaires (RMN ^{13}C à l'état solide ; pyrolyse couplée à la spectrométrie de masse : spectrométrie de masse ultrahaute résolution).

L'analyse en composantes principales réalisée à partir des données globales et moléculaires des différents échantillons a montré que la composition chimique de la MOD différait de manière significative de celle de la MO particulaire et sédimentaire, moins hydrophiles. Les datations au ^{14}C ont en outre révélé l'âge récent de la MOD et de la MO (> 1950), contrairement à la MO sédimentaire dont l'âge dépend fortement de la saison et des conditions hydroclimatiques associées. Nous avons par ailleurs noté une forte variation des caractéristiques de la MO le long de l'estuaire, qui semblent principalement dépendre du mélange des masses d'eaux fluviales et marines. Les analyses isotopiques et moléculaires ont également révélé que la MO de l'estuaire de Seine était principalement d'origine autochtone. Enfin, des variations saisonnières ont, dans une moindre mesure, également été observées via les analyses spectroscopiques, montrant que la masse moléculaire moyenne et l'aromaticité de la MOD sont plus élevées en hiver qu'en été. Ce travail souligne la nécessité de coupler les techniques d'analyses globales et moléculaires pour mieux comprendre la dynamique complexe de la MO estuarienne.

Index des auteurs (les participants au colloque sont indiqués en gras)

A

Abdalla, Khatab.....	115
Abiven, Samuel	96, 105, 107
Agnan, Yannick	24
Aït Helal, Warda.....	128
Akkal-Corfini, Nouraya.....	136
Albrecht, A.	113
Alexis, Marie A.	24, 57, 119
Allen, D.	42
Amiaud, Bernard	124, 140
Amiotte-Suchet, Philippe.....	99, 115
Anderson, David.....	54
Angers, Denis.....	129
Anquetil, Christelle.....	24, 57, 62, 119, 139, 147
Ardito, Luigi	37, 64
Arhror, M.....	44
Aubert, Michaël	117
Aubry, E.	24

B

Babey, Tristan	25
Bakyono, Jean-Paul	110
Balesdent, Jérôme.....	94
Banc, Camille	36
Bareha, Younes	88
Bariac, Thierry.....	56, 84
Barrandon, Mathieu	112
Barré, Pierre	94, 101, 109
Barthod, Justine	84, 108
Basile-Doelsch, Isabelle	94
Bataillard, Philippe	38
Baudin, François	101, 109
Bayard, Rémy	81
Becquer, Thierry.....	141
Beguiristain, Thierry	28
Béline, Fabrice	83
Benbelkacem, Hassen.....	81
Bergonzini, Laurent	62
Bernard, Laetitia	141, 143
Biache, Coralie	28, 38, 111
Binet, F.	75
Binet, S.	42
Biron, Philippe.....	84
Blanc, Denise	36, 43
Blanchart, Eric.....	141, 143
Blessing, Michaela.....	56

Blieux, Anne-Laure	73
Blottière, Lydie.....	135
Boily, Jean-François.....	49
Bonomi, Giuliano.....	62
Bouchez, Théodore	79
Breil, Pascal.....	138
Brosse-Quilgars, C.	44
Bureau, Fabrice	117

C

Caillet, Céline	40
Cambert, Mireille	91
Cambou, Aurélie	97
Cambouives, T.....	42
Cannavo, Patrice	97
Cardinael, Rémi.....	98
Castrec-Rouelle, Maryse.....	24
Catteloin, D.....	28
Caudal, J.P.....	75
Cébron, A.	28
Cécillon, Lauric	101, 109, 117
Chaaban, Abdul-Amir	40
Chabaux, François	110
Chamaa, Amr	81
Chantigny, Martin	129
Chaplot, Vincent.....	115
Chemidlin, Nicolas.....	99, 141
Chenu, Claire	98, 101, 109
Chevallier, Tiphaine	98, 113, 143
Chevron, Nathalie.....	46
Chotte, Jean-Luc.....	113
Chupakov, A.V.....	131, 145
Claustres, A.	42
Cluzeau, Daniel	74
Coche, Alexandre	25
Coffinet, Sarah	62
Collet, Catherine	117
Colombano, Stefan.....	38
Copard, Yoann	110, 117
Coppola, Alysha.....	105
Cordero, J. A.....	65
Cortet, Jérôme	76
Costa, Dominique.....	49
Cournac, L.....	98
Cozzi, T	98
Crouzet, Olivier	46

D

Dagois, Robin	100
Daumoin, Mylène	91
Davranche, Mélanie	30
de Brauer, Christine	81
de Dreuzy, Jean-Raynald	25
de Junet, Alexis	111
De Vleeschouwer, F.	42
Debenest, G.	82
Debled, Marie	91
Debret, Maxime	110
Deffontaines, Sylvain	141
Denaix, Laurence	23, 46
Denis, Marie	126, 136
Dequiedt, Samuel	73, 99, 141
Derenne, Sylvie	24, 62, 119, 139, 147
Derrien, Delphine	94, 100, 112, 114
Destandau, Emilie	37, 56, 64
Di Giovanni, Christian	37, 64, 110
Digan, L.	82
Dignac, Marie-France	84, 94, 108
Dubos, S.	82
Dumas, Claire	82
Dupas, Rémi	136
Durand, Patrick	136
Durantez, P.	42

E

Everson, Colin	115
----------------------	-----

F

Faivre-Primot, Céline	99
Fanomezana, Rota Andrea	143
Faure, Pierre	28, 38
Fauvet, Aude	124
Feuillade-Cathalifaud, Geneviève	32
Fiorelli, Jean-Louis	100
Fisgativa, Henry	83
Fléhoc, Christine	56
Fougère, Laetitia	37, 56, 64
François, Bon	57
Frayret, Jérôme	38
Freschet, Grégoire	70
Friedli, Cordula	96
Fujisaki, K.	113

G

Gagné, Jean-Pierre	47
Gandois, Laure	42
Garnier Philippe	59

Garnier, Patricia	25
Garnier, Philippe	65
Gautier, Mathieu	27, 36, 43
Gayraud, Félix	62
Gelhaye, E.	112
Genestier, Julie	124
Germain, P.	116
Girardin, Cyril	98, 101
Girault, Romain	88
Gogo, Sébastien	128
Gonzalez, Beatriz	107
Gourdon, Rémy	27, 36, 43
Gruau, Gérard	123, 126, 136
Guénet, Hélène	30
Guerif, Alexandre	90
Guigue, Julien	99
Guillou, C.	65
Guimbaud, Christophe	128

H

Hajjoul, Houssam	47
Hamon, Etienne	111
Hanna, Khalil	49
Hansson, S.V.	42
Harrault, Loïc	54
Hättenschwiler, Stephan	70
Hirte, Juliane	96
Hoeffner, Kevin	74
Horgue, P.	82
Horrigue, Walid	99
Houot, Sabine	109
Huguet, Arnaud	62, 147
Humbert, Guillaume	126, 136
Hunault, Gilles	97
Huot, Hermine	97

I

Inamdar, Shreeram	136, 137
Ivanova, I.S.	131, 145

J

Jacob, Jérémy	37, 56, 64, 111
Jaffrezic, Anne	126, 136
Jardé, Emilie	54
Jaudoin, Caroline	83
Jeanneau, Laurent	54, 126, 136, 137
Jesus van der Kellen, Ingride	114
Jobin, Lucas	138
Johansson, Clotilde	38
Joubert, Antoine	38
Juarez, Sabrina	117

K

Kania, Manon.....	27
Kätterer, Thomas	109
Kazpard, Véronique.....	40
Kirpotin, S.N.....	131
Klopfert, Jean.....	114
Klotz, Sébastien.....	110
Kohli, A.	24

L

Laggoun-Défarge, Fatima	128
Landais, Amaëlle	56
Lardy, L.	113
Lartiges, Bruno	40
Laverman, Anniet	139
Le Bris, N.....	75
Le Garrec, J.L.....	75
Le Guillou, Cédric	99
Le Milbeau, Claude.....	37, 56, 64
Le Roux, Gael	42
Lebouteiller, Caroline	110
Lebreton, Axel	28
LeCoz-Bouhnik, Martine	30
Leglize, Pierre.....	111
Lejay, Mathieu	57
Lelievre, Mélanie.....	99
Leménager, Diane	73, 90
Lenhart, Tobias	84
Leveque, Jean	99, 115
Lorgeoux, Catherine	28, 38
Lotfi Kalahroodi, Elaheh	30
Lucquin, Alexandre	53
Lupsea-Toader, Maria	36, 43
Lutfalla, Suzanne.....	109

M

Macdonald, Andy.....	109
Majule, Amos.....	62
Manasypov, R.M.	131, 145
Manneville, Vincent	140
March, Ramiro J.	59, 65
Marcilhac, Cyril	83
Maron, Pierre-Alain.....	73, 99, 141
Marquer, L.	42
Marsac, Rémi	49
Martin, F.....	112
Martinez, Luis	43
Masson, Mathieu	44
Mathieu, Olivier	99, 115
Maunoury-Danger, Florence.....	111
Mazier, F.....	42

Melhouki, Wahid.....	128
Menasseri-Aubry, Safya	129
Mengelle, E.	82
Micheau, Clara	147
Michel, Philippe	27
Michels, Raymonds	28
Miège, Cécile	44
Milek, Karen.....	54
Milori, Débora M. B. P	118
Monard, Cécile	74, 75
Moreau, Clotilde	46
Morel, Jean Louis	100
Morio, Cédric.....	37, 64
Morvan, Thierry	116
Mounier, Stéphane	47, 118
Mourad, Harir	147

N

Namour, Philippe	138
Nguyen, Tu Thanh Thuy.....	119
Nicolas, Manuel	101
Nouhi, Ayoub	47
Nowak, Virginie.....	99

O

Olry, Jean-Charles	124
Ouvrard, Stéphanie	111

P

Pagès, C.....	82
Pallier, Virginie.....	32
Panettieri, Marco	99
Parlanti, Edith	44, 147
Parot, Jérémie.....	147
Parr, Thomas B.....	136
Paul, E.....	82
Payandi-Rolland, Dahedrey	131, 145
Pelletier, M.	28
Pelt, Eric.....	110
Petitjean, Caroline	140
Petitjean, Patrice.....	126, 136
Philibert, Aurore.....	140
Pierson-Wickmann, Anne-Catherine	30, 126, 136
Pigot, Thierry	38
Pinta, L.....	24
Piron, Denis.....	76
Piutti, Séverine	124, 140
Plante, Alain F.	109
Plisson-Chastang, Célia	40
Pokrovsky, O.S.....	131, 145
Ponzevera, Emmanuel.....	30

Potard, K.....	75
Poursat, Antoine	128

Q

Quenea, Katell	57, 119
Quibel, Edouard	117

R

Ranjard, Lionel	73, 99, 141
Rapaport, Alain.....	25
Razafimbelo, Tantely.....	113, 141, 143
Razanamalala, Kanto	141, 143
Redon, Roland.....	47
Rees, Frédéric	100
Reisser, Moritz	105
Richard, L.....	44
Richard, Patricia	84
Richter, Claudine.....	117
Rochelle-Newall, Emma	135
Rondeau-Mouro, Corinne	91
Rosset, T.	42
Roussel, Anthony	62
Roux de Balmann, H.	82
Rouxel, Oliver.....	30
Rowland, Richard	137
Rumpel, Cornelia	84, 108

S

Sabatier, Pierre	37, 64
Saint-André, Laurent	112
Sainte-Marie, J	112
Samson, Marie-Élise	129
Santoni, Anne-Lise.....	99, 115
Santonja, Mathieu.....	74
Savignac, Florence.....	101, 109
Schmitt-Kopplin, Philippe	147
Schwartz, Christophe.....	97, 100
Sellami, Farid	57
Séré, Geoffroy.....	76, 100, 111
Shaw, Richard K.....	97
Shirokova, Liudmila S.	131, 145
Shorina, N.V.	131
Simonneau, Anaëlle.....	37, 42, 64
Simonnot, Marie-Odile	100
Soucémariadin, Laure	101, 109
Studer, Mirjam.....	96

T

Tadini, Amanda M	118
Tavella, M.J.	42
Teisserenc, Roman	42
Thevenot, Mathieu	99, 115
Thibault, Alexandre	37, 64, 147
Thibaut, Jean-Noël	59
Thiebault, J.....	65
Thiebault, Thomas.....	37, 64
Thuret Benoist, Hélène	32
Trably, E.....	82
Trap, Jean	141, 143
Trémier, Anne	88, 91
Tripied, Julie.....	99
Turpault, Marie-Pierre.....	114

V

van Oort, Folkert	109
van Rensburg, Sue.....	115
Vanasse, Anne	129
Viaud, Valérie	99, 126, 136
Vicendo, Patricia	40
Vidal, Alix	84, 119
Vidal-Beaudet, Laure	97
Vieublé-Gonod, Laure.....	25
Villenave, Cécile	76
Vivien, Emma	46

W

Watteau, Françoise	76, 100, 116
Williamson, David	62
Wu, Feng	49

X

Xu, Jing	49
----------------	----

Y

Yang, Feng-Ping	59
Yvin, Jean-Claude	73, 90

Z

Zabelina, S.A.	131, 145
Zech, Michael.....	56

LISTE DES PARTICIPANTS

A

Abiven Samuel

samuel.abiven@geo.uzh.ch
Zurich, Suisse
Université de Zurich

Agnan Yannick

yannick.agnan@upmc.fr
Paris
UPMC

Aissani Lynda

lynda.aissani@irstea.fr
Rennes
Irstea

Alexis Marie

marie.alexis@upmc.fr
Paris
UPMC

Amiaud Bernard

bernard.amiaud@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
Université de Lorraine

B

Banc Camille

banc.camille@gmail.com
Villeurbanne
INSA Lyon

Barre Pierre

barre@geologie.ens.fr
Paris
UMR8538

Basile-Doelsch Isabelle

Isabelle basile@cerge.fr
Aix-en-Provence
INRA

Baudin François

francois.baudin@upmc.fr
Paris
Sorbonne Université

Bayard Remy

remy.bayard@insa-lyon.fr
Villeurbanne
Université de Lyon - INSA de Lyon

Bernard Laetitia

laetitia.bernard@ird.fr
Montpellier
IRD

Biache Coralie

coralie.biache@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
CNRS

Bouchez Theodore

theodore.bouchez@irstea.fr
Antony Cedex
Irstea

Bougon Nolwenn

nbougon@gmail.com
Vincennes
Agence Française pour la biodiversité

Budzinski Hélène

helene.budzinski@u-bordeaux.fr
Bordeaux
1966 Université de Bordeaux/CNRS

Bureau Fabrice

fabrice.bureau@univ-rouen.fr
Mont Saint Aignan
Université de Rouen Normandie

A

Cam Nithavong

cam@cerge.fr
Aix en Provence
CNRS

Cambou Aurelie

aurelie.cambou@agrocampus-ouest.fr
Angers
Agrocampus Ouest Angers

Cecillon Lauric

lauric.cecillon@irstea.fr
Saint Martin d'Hères
Irstea

Chenault Jean-Philippe

jpchenault@nm.cerfrance.fr
Fleury sur Orne
Cerfrance Normandie Maine

Chenu Claire

claire.chenu@inra.fr
Grignon
AgroParisTech

Chevallier Tiphaine

tiphaine.chevallier@ird.fr
Montpellier
IRD

Cluzeau Daniel

daniel.cluzeau@univ-rennes1.fr
Paimpont
Univ.Rennes1

Coche Alexandre

alexandre.coche@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS-GEOSCIENCES

Copard Yoann

yoann.copard@univ-rouen.fr
Mont Saint Aignan
Université Rouen-Normandie

D**de Junet Alexis**

alexis.dejunet@univ-lorraine.fr
Vandoeuvre les Nancy
Université de Lorraine

Denaix Laurence

laurence.denaix@inra.fr
Villeneuve d'Ornon
INRA

Denis Marie

mariedenis57@hotmail.fr
Rennes
Université de Rennes 1

Derenne Sylvie

sylvie.derenne@upmc.fr
Paris
CNRS

Derrien Delphine

delphine.derrien@inra.fr
Nancy
INRA

Derrien Karin

karin.derrien@inra.fr
Rennes
INRA

Dignac Marie-France

marie-france.dignac@inra.fr
Paris
INRA

Dumas Claire

cl_dumas@insa-toulouse.fr
Toulouse
INRA

F**Faure-Cattelain Pierre**

pierre.faure@univ-lorraine.fr
Vandoeuvre les Nancy
CNRS / Université de Lorraine

Fisgativa Henry

henry.fisgativa@irstea.fr
Rennes
Irstea

Fovet Ophélie

ophelie.fovot@inra.fr
Rennes
INRA UMR SAS

G**Gandois Laure**

laure.gandois@ensat.fr
Toulouse
CNRS

Gangloff Sophie

sgangloff@unistra.fr
Strasbourg
CNRS

Gautier Mathieu

mathieu.gautier@insa-lyon.fr
Villeurbanne
INSA Lyon

Geffroy Claude

claud.geffroy@univ-poitiers.fr
Poitiers
Université

Gigault Julien

julien.gigault@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS/Université de Rennes1

Girault Romain

romain.girault@irstea.fr
Rennes
Irstea

Gogo Sébastien

sebastien.gogo@univ-orleans.fr
Orléans
Université d'Orléans

Gourdon Remy

remy.gourdon@insa-lyon.fr
Villeurbanne
INSA Lyon

Gruau Gérard
gerard.gruau@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS/Université de Rennes I

H

Harrault Loïc
loic.harrault@durham.ac.uk
Durham, Royaume-Uni
University of Durham

Hättenschwiler Stephan
stephan.hattenschwiler@cefe.cnrs.fr
Montpellier
CNRS

Hego Elena
elena.hego@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
Université de Lorraine - FST

Huguet Arnaud
arnaud.huguet@upmc.fr
Paris
CNRS/UPMC

Humbert Guillaume
guillaume.humbert@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS/UPMC/Rennes1

J

Jacob Jeremy
jeremy.jacob@cnrs-orleans.fr
Orléans
CNRS

Jaffrezic Anne
anne.jaffrezic@agrocampus-ouest.fr
Rennes
UMR SAS INRA Agrocampus Ouest

Jeanneau Laurent
laurent.janneau@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS - Géosciences Rennes

Jesus van der kellen Ingrid
ingride.jesus-van-der-kellen@inra.fr
Champagnoux
INRA

Jimenez Julie
Julie.jimenez@inra.fr
Narbonne
INRA

Johansson Clotilde
clotilde.johansson@serpol.fr
Nancy
Université de Lorraine-RP2E/Entreprise : SERPOL

L

Labbe Tiphaine
Tiphaine.labbe@inra.fr
Rennes
INRA

Laggoun Fatima
fatima.laggoun@univ-orleans.fr
Orléans
CNRS

Lartiges Bruno
bruno.lartiges@get.omp.eu
Toulouse
Université de Toulouse

Laverman Annet
annet.laverman@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS Rennes1

Le Fisher Sonia
slf@shimadzu.fr
Paris
Shimadzu

Le Mer Guillaume
guillaume.le_mer@etu.upmc.fr
Paris
UPMC

Le Roux Gael
gael.leroux@ensat.fr
Toulouse
CNRS

Lebreton Axel
Lebreton.axel@outlook.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
Université de Lorraine

Lemenager Diane
Diane.Lemenager@roullier.com
Saint-Malo
CMI groupe roullier

Leveque Jean
jean.leveque@u-bourgogne.fr
Dijon
Biogéosciences

Liotaud Marine
marine.liotaud@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS

Lorgeoux Catherine

catherine.lorgeoux@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
GEORESSOURCES CNRS

Lotfi Kalahroodi Elaheh

elaheh.lotfi-kalahroodi@univ-rennes1.fr
Rennes
Université Rennes 1

Lucquin Alexandre

alexandre.lucquin@york.ac.uk
York, Royaume Uni
University of York

Lupsea-Toader Maria

maria-octavia.lupsea@insa-lyon.fr
Villeurbanne
INSA Lyon

M**Mansuy-Huault Laurence**

laurence.huault@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
Université de Lorraine

March Ramiro Javier

ramiro.march@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS

Marsac Remi

remi.marsac@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS - Géosciences Rennes UMR 6118

Masson Matthieu

matthieu.masson@irstea.fr
Lyon
Irstea

Mathieu Olivier

olivier.mathieu@u-bourgogne.fr
DIJON
Université de Bourgogne

Menasseri Safya

Safya.Menasseri@agrocampus-ouest.fr
Rennes
INRA

Monard Cécile

cecile.monard@univ-rennes1.fr
Rennes
CNRS

Morvan Thierry

thierry.morvan@inra.fr
Quimper
INRA

Mounier Stéphane

stephane.mounier@univ-tln.fr
La Garde
Université de Toulon

N**Namour Philippe**

philippe.namour@irstea.fr
Villeurbanne
Irstea

O**Ouvrard Stéphanie**

stephanie.ouvrard@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
INRA

P**Panettieri Marco**

marco.panettieri@u-bourgogne.fr
Dijon
Biogéosciences

Parlanti Edith

edith.parlanti@u-bordeaux.fr
Talence cedex
UNIVERSITE DE BORDEAUX

Payandi-Rolland Dahedrey

dahedrey.payandi-rolland@get.omp.eu
Toulouse
Université Paul Sabatier

Pertue Maryvonne

Maryvonne.Pertue@inra.fr
Rennes
INRA

Petitjean Caroline

caroline.petitjean@noos.fr
Nancy
INRA - Université de Lorraine

Pierson-Wickmann Anne-Catherine

anne-catherine.pierson-wickmann@univ-rennes1.fr
Rennes
Université Rennes 1

Piutti Séverine

severine.piutti@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
INRA

Q

Quenea Katell

katell.quenea@upmc.fr
Paris
UPMC

Quero Solène

quero@cerege.fr
Aix en Provence
CEREGE

Quibel Edouard

edouard.quibel@gmail.com
Mont-Saint-Aignan
Université de Rouen

R

Rees Frédéric

frederic.rees@univ-lorraine.fr
Thiverval-Grignon
INRA

Remusat Laurent

remusat@mnhn.fr
Paris
CNRS/MNHN/Sorbonne Universités

Rochelle-Newall Emma

emma.rochelle-newall@ird.fr
Paris
IRD

Rondeau-Mouro Corinne

corinne.rondeau@irstea.fr
Rennes
IRSTEA

Rossi Lorenzo

lmw.rossi@gmail.com
Montpellier
INRA

Rumpel Cornelia

cornelia.rumpel@inra.fr
Thiverval-Grignon
CNRS

S

Samson Marie-Elise

marie-elise.samson.1@ulaval.ca
Rennes
UMR SAS/Université Laval

Shirokova Liudmila

liudmila.shirokova@get.omp.eu
Toulouse
Université Paul Sabatier

Soucemarianadin Laure

souce@geologie.ens.fr
Paris
Ecole Normale Supérieure

T

Thevenot Mathieu

mathieu.thevenot@u-bourgogne.fr
Dijon
Université de Bourgogne

Thuret Benoist Hélène

helene.thuret-benoist@unilim.fr
Limoges
Université de Limoges

Tremier Anne

anne.tremier@irstea.fr
Rennes
Irstea

Trichet Jean

jgtrichet@sfr.fr
Olivet
Orléans

V

Vanasse Anne

Anne.Vanasse@fsaa.ulaval.ca
Québec, Canada
Université Laval Invitée UMR INRA/AO SAS

Viaud Valérie

Valerie.Viaud@inra.fr
Rennes
INRA

Vidal Alix

alix.vidal@wzw.tum.de
Freising, Allemagne
TUM

Vidal-Beaudet Laure

laure.beaudet@agrocampus-ouest.fr
Angers
AGROCAMPUS OUEST

W

Walter Christian

christian.walter@agrocampus-ouest.fr
Rennes
AGROCAMPUS OUEST

Watteau Françoise

francoise.watteau@univ-lorraine.fr
Vandœuvre-lès-Nancy
Univ de Lorraine UMR INRA 112

Y

Yang Feng-Ping
yfparch@hotmail.com
Rennes
CNRS

Yvin Jean Claude
JeanClaude.Yvin@roullier.com
Saint-Malo
CMI