



Document de synthèse du Séminaire

« Les Matières Organiques en France, Etat de l'Art et Prospectives »

Carqueiranne,
22-24 janvier 2006

Les membres du Comité Scientifique du Séminaire



Organisation du séminaire

L'idée d'un séminaire regroupant les acteurs français de la matière organique a émergé lors des premières réunions du Réseau MO, au deuxième semestre 2004, consacrées à l'élaboration d'une base de données la plus exhaustive possible des intervenants du domaine. Cette base a permis aux animateurs de constituer un comité scientifique pour le séminaire, selon les critères suivants : (i) représentativité des milieux étudiés (sols, eaux continentales, milieux côtiers et/ou marins, etc.), (ii) représentativité des finalités (stockage du carbone, recyclage des déchets, cycles biogéochimiques, etc.), (iii) représentativité institutionnelle (INRA, CNRS, Universités, etc.) et (iv) parité hommes-femmes :

André Amblès, Université de Poitiers, UMR Synthèse et réactivité des substances naturelles

Marc Benedetti, Université Paris 7, UMR Géochimie des eaux

Pierre Benoit, INRA Versailles-Grignon, UMR Environnement et grandes cultures

Jean-Luc Chotte, IRD Montpellier, UR Séquestration du carbone et bio-fonctionnement des sols

Marie-France Dignac, INRA Versailles-Grignon, UMR Biogéochimie et écologie des milieux continentaux

Yves Dudal, INRA Avignon, UMR Climat, sol et environnement

Pierre Faure, CNRS Nancy, UMR Géologie et gestion des ressources minérales et énergétiques

Jérémy Jacob, Université Orléans, UMR Institut des sciences de la terre d'Orléans

Cécile Miège, Cemagref - Groupement de Lyon, Laboratoire des Micropolluants Organiques

Bernard Nicolardot, INRA, Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons

Edith Parlanti, CNRS Bordeaux, UMR Physico-toxico chimie des systèmes naturels

Alexandra Ter Halle, Université de Clermont-Ferrand, Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire

Le premier travail du comité, réuni initialement début 2005, a consisté à définir cinq thèmes généraux permettant de balayer la diversité des recherches concernant les matières organiques en France :

Thème 1 : Cycle des matières organiques actuelles et passées : géochimie – Emissions, transferts (particulaire, colloïdal, dissous et gazeux), stockage, paléoenvironnements ;

Thème 2 : Cycle des matières organiques actuelles et passées : biochimie – Biotransformations, écologie microbienne, biodisponibilité, productivité ;

Thème 3 : Réactivité des matières organiques – Interactions organo-minérales, altération des MO, interactions avec les polluants organiques et métalliques ;

Thème 4 : Caractérisation et dynamique des matières organiques anthropiques – Composts, sols industriels, eaux usées/eaux potables, résidus agricoles et agro-industriels ;

Thème 5 : Développements récents pour l'étude des matières organiques – Méthodes physiques, optiques, chimiques et biologiques.

Ces thèmes représentent l'ossature du séminaire. En effet, les quatre premiers thèmes ont fait l'objet de sessions à part entière et le cinquième a donné lieu à des « flashes méthodologiques » insérés au sein de chaque session, chacune articulée autour de deux ou trois présentations orales, d'une importante séance

de posters (entre 20 et 30 posters par thème), véritable plaque tournante des rencontres et d'une table ronde-débat animée par les membres du Comité.

Une large diffusion a été effectuée pour informer de l'organisation de ce séminaire auprès de la communauté scientifique et les collègues ont été invités à soumettre leurs travaux, sous la forme de résumés d'une page, sur le site web du réseau doté d'une application d'échanges de fichiers, préalablement conçue par une stagiaire encadrée par les animateurs du Réseau. Cette application permettait aux membres du Réseau de soumettre leur document via un accès sécurisé et aux membres du Comité Scientifique d'accéder à ces documents et d'enregistrer leurs remarques.

Dans le même temps, le deuxième travail du comité a consisté à choisir un panel de conférenciers invités et de leur expédier une « lettre de mission » fixant les attentes du Comité pour les présentations orales de chaque thème. Il a été demandé aux invités un effort particulier de synthèse des travaux actuels, non pas uniquement de leur propre équipe, mais des acteurs français de la recherche dans le domaine considéré.

Ces différentes étapes ont permis de construire le programme définitif du Séminaire ainsi que le document de synthèse regroupant les 120 résumés retenus (documents en annexe).

Déroulement du séminaire

Du 22 au 24 janvier 2006, 175 personnes se sont réunies au VVF La Valérane à Carqueiranne (83) pour le Séminaire. Le Tableau 1 présente la répartition générale des participants.

Tableau 1 : Les participants inscrits au séminaire.

	Effectif	%
Total inscrits	175	
Hommes	105	60
Femmes	70	40
Doctorant(e)s	47	27
Nombre de structures participant	29	
INRA	56	32
CNRS	45	26
Universités	26	15
IRD	8	5
CIRAD	4	2
CEMAGREF	3	2
IRSN	2	1
CEA	2	1

Le budget du Séminaire a été équilibré. Les sources de financement ont été : l'INRA au travers du Département Environnement et Agronomie (5000 €), le

CNRS au travers de l'INSU (5000 €) et les inscriptions des participants (tarif normal 160 €, 80 € pour les thésards). Ce budget a permis d'organiser sereinement ces rencontres et d'inviter notamment les conférenciers.

Une synthèse de chaque session a été réalisée par les membres du comité, animateurs des sessions, et est présentée ci-après. De plus, un questionnaire de satisfaction a été remis à chaque participant le dernier jour du Séminaire. Le taux de réponse à ce questionnaire a été de 50% et le sentiment général qui en ressort est positif. La majorité des répondants demandent la reconduction de ce type de rencontre. Ont notamment été appréciés l'ambiance et le regroupement des chercheurs de milieux très divers. La plupart des participants a fait remarquer qu'il avait manqué du temps pour échanger plus encore entre participants. Cependant, le nombre inattendu de participants (175 pour une prévision initiale de la moitié) a généré quelques difficultés. Les salles de posters se sont avérées trop petites et le temps alloué à ceux-ci (une heure par session) trop court. Les débats ont eux aussi été affectés par le grand nombre de participants ; en effet, il n'a pas forcément été possible à tous de poser des questions spécifiques aux orateurs, et la tâche de dynamisation des débats par les membres du Comité a été fortement accrue.

Les attentes suite au Séminaire sont fortes : échanges méthodologiques, collaborations, vulgarisation scientifique, synthèse, etc. Il est prévu que les posters et présentations orales soient diffusés sur un site web (en préparation) afin de faciliter les contacts entre groupes impliqués et de compenser le manque de temps et d'espace de discussion autour des posters notamment.

Session 1 - Cycle des matières organiques actuelles et passées : géochimie. Animation : Marc Benedetti et Jérémy Jacob

La session, qui ouvrait le séminaire, a débuté avec trois exposés scientifiques dont l'objectif était d'afficher la diversité des échelles de temps et d'espace concernées par l'aspect géochimique de l'étude des matières organiques. L'exposé de P. Labrot (CBM, Orléans ; coll. F. Westall) soulevait les problèmes analytiques liés à la recherche des premières matières organiques, témoins de la vie primitive sur terre. Outre la combinaison d'études moléculaires et microscopiques, l'auteur a insisté sur les perspectives promises par le couplage de la Microscopie à Force Atomique (AFM) avec la biochimie moléculaire pour relier la composition moléculaire des matières organiques à leur structure tridimensionnelle. L'exposé suivant (Y. Goddérès, LMTG, Toulouse) a dressé un large panorama des cycles biogéochimiques, en particulier celui du carbone, à l'échelle de temps géologiques. Le troisième exposé (B. Mary, INRA) avait pour objectif de montrer des applications de modèles de fonctionnement des sols pour reconstituer, à partir des processus, les flux, stocks et transferts de carbone et d'azote.

Séance de posters :

Les 27 posters qui ont été présentés par les participants couvraient l'étude des matières organiques dans différents milieux (Fig. 1), selon des échelles spatiales et temporelles très disparates au moyen d'approches (modélisation, sites expérimentaux, sites naturels, laboratoire) et d'outils analytiques (géochimie organique globale, moléculaire et isotopique, spectroscopies et microscopies) variés.

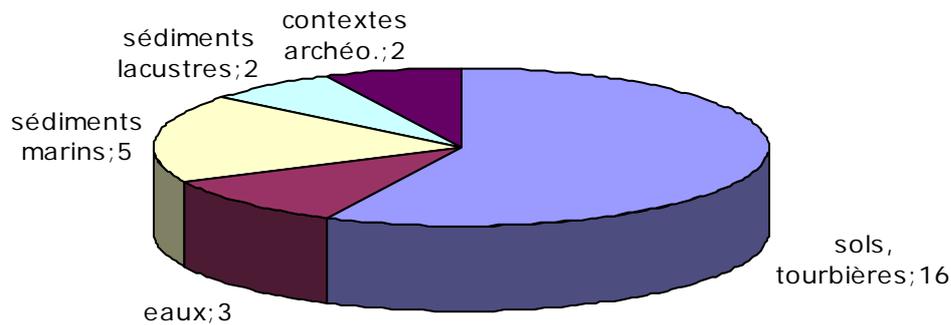


Fig. 1 : Répartition des posters dans le thème I.

La plupart des présentations concernaient le thème très fédérateur des cycles biogéochimiques (carbone et azote en particulier) dans les écosystèmes actuels, et en particulier sur le système « sol » : transferts au sein des sols, à l'échelle d'un bassin versant ou transferts continent/océan, sous forme dissoute ou particulaire.

Synthèse des débats :

L'accent a été mis, lors des discussions qui ont suivi la séance posters, sur la nécessité de quantifier les stocks et flux afin d'établir des bilans réalistes de la dynamique des matières organiques et de leurs éléments constitutifs dans les systèmes naturels.

La MO est utilisée dans ce thème comme traceur d'origine et des processus (géologiques, microbiens, agronomiques), face aux forçages climatiques et anthropiques. Les travaux visent alors à identifier le bon traceur pour tel ou tel processus et à le calibrer correctement.

La pertinence de l'outil modélisation a été très discutée dans ce thème. Les besoins sont identifiés concernant les sauts d'échelle, afin de passer du moléculaire au plus large, concernant l'interprétation multi-échelle, les structures tridimensionnelles et la représentativité de ce qui est connu au niveau moléculaire à une échelle plus globale.

Peu de posters ont été présentés sur les matières organiques marines (mélanoïdines et MO associées aux phosphates), ou à l'interface continent-océan. A regretter également l'absence des chercheurs intervenants sur les aérosols.

Au total, la communauté française travaillant sur les aspects géochimiques des matières organiques semble avoir amorcé un virage décisif. La matière organique n'est plus considérée comme un objet d'étude en soi, mais comme un support d'information pour retracer les processus géochimiques.

Session 2 : Cycle des matières organiques actuelles et passées : biochimie. Animation : Bernard Nicolardot et Jean-Luc Chotte

Séance de posters :

21 posters ont été présentés dans le cadre de cette session. Les thématiques abordées ont été la biodégradation (posters II-2, II-5, II-6, II-10, II-11, II-17, II-18, II-19, II-20, II-21), l'écologie microbienne en interaction avec la biodégradation (II-3, II-4, II-7, II-8, II-13, II-14), l'écologie microbienne (II-16), la biodisponibilité en interaction avec la biodégradation (II-1), les processus de stabilisation et les biomarqueurs (II-9, II-12, II-15).

Une seule étude a concerné le climat tropical. Il n'y a pas eu de présentation concernant le milieu aquatique. Le milieu d'étude est principalement le sol (16 posters), les sédiments (4) ou le milieu naturel au sens large (1). Les matières organiques étudiées sont présentées dans la figure 2. Les études sont conduites à l'échelle du labo (14), *in situ* (6) ou aux 2 échelles (1). Par ailleurs, les études concernent des temps courts (15) et le moyen-long terme (6) et quelques expérimentations ont fait appel au traçage isotopique (7). Enfin peu d'études ont été concernées par la modélisation mathématique (3).

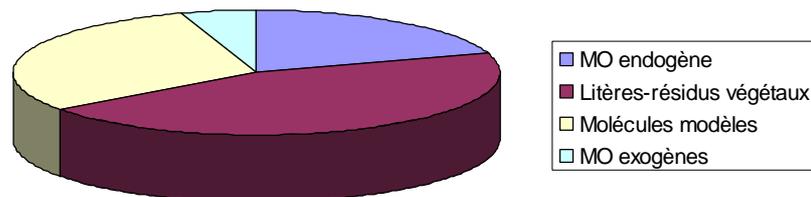


Fig. 2 : Répartition des posters selon les objets d'étude.

Par ailleurs 7 posters du thème 5 étaient reliés au thème 2 : ils ont concerné la biodisponibilité du phosphore (poster V-2) ou des matières organiques (V-17), les biomarqueurs (V-4, V-12), l'estimation de la biomasse microbienne des sols (V-13), la modélisation de la dynamique des MO (V-15) et enfin la dégradation des matières organiques exogènes (V-21).

Synthèse des débats :

Les débats ont été structurés autour de différentes questions :

- La question des échelles de temps et d'espace qui s'applique notamment en particulier sur l'environnement (aquatique, terrestre), l'approche globale, la prise en compte des différentes échelles et la place de la modélisation.

A été beaucoup discutée la notion de complexité. Quel niveau de complexité prendre en compte en modélisation notamment dans le domaine de l'écologie microbienne ? Par exemple les paramètres qui décrivent la physiologie des micro-organismes dans les modèles sont souvent incapables de répondre aux questions sur l'écophysiologie des micro-organismes. Par ailleurs aujourd'hui les

outils en écologie microbienne sont très nombreux et permettent de prendre en compte différents niveaux de complexité souvent difficilement compatibles avec la nécessaire simplification des représentations dans les modèles. Il existe donc réellement un hiatus entre la nécessaire simplification et la complexité de la réalité notamment en écologie microbienne. Par ailleurs, il a été souligné que la modélisation était un outil intégrateur à utiliser avec d'autres ; il ne permet pas de traiter toutes les questions, mais est nécessaire pour les études des mécanismes ou des déterminants ; cela permet également d'intégrer différents niveaux d'échelle. Enfin, il serait judicieux également lorsque sont utilisés les modèles d'intégrer la notion de variabilité ('intervalle de confiance') aussi bien pour les paramètres que pour les résultats de simulation.

- La spécificité de l'environnement : *Que peut on attendre d'une confrontation des travaux conduits dans les milieux terrestre et aquatique (partage de techniques, concepts, évolution des matières organiques?) ; Est-ce qu'il y a un intérêt à confronter milieu tempéré et tropical (spécificité de la microflore, des substrats).*

Malgré l'absence des collègues travaillant sur les milieux aquatiques, il y aurait tout intérêt à confronter les approches, les techniques et les concepts utilisés dans ces 2 milieux. Il est ainsi souligné l'existence d'une équipe (LADYBIO) qui travaille sur la dégradation des litières en milieu aquatique. Egalement des travaux sur la matière organique sont réalisés dans les sédiments des mangroves en milieu anaérobie qui pourraient être intéressants à mettre en parallèle aux études effectuées sur des milieux aérés. La confrontation tropical/tempéré serait également intéressante. La pédogenèse a été différente (pas de glaciation). La pédologie des 2 types de milieu est différente et induit des différences au niveau des processus d'évolution des matières organiques (stabilisation, protection, dégradation). Concernant les acteurs de la dégradation, la pédofaune est également à prendre en compte ; elle est rarement prise en compte, sa diversité fonctionnelle est probablement différente des milieux tempérés. Malheureusement le manque de systématiciens va devenir un problème futur. Est-ce qu'il y a réellement une spécificité de la microflore ? Tout dépend de l'échelle à laquelle on se place : à une échelle fine, ce ne sont pas les mêmes micro-organismes alors que l'on retrouve les grands groupes taxonomiques dans les 2 milieux.

- La composante microbienne : *relations entre le niveau des acteurs (biomasse microbienne) et les fonctions réalisées ; intérêt de ces relations pour la biodisponibilité, la productivité.*

Le rôle de la mésofaune est souvent négligé en particulier sur la dégradation des litières ; quelle est sa biodiversité ? sa diversité fonctionnelle ? intérêt de la prendre en compte ? Les relations entre mésofaune et microflore ? Se pose à terme la question des compétences qui disparaissent en particulier pour les systématiciens.

- Les démarches et outils : *intérêt à utiliser des objets modèles, le contrôle des paramètres (matières organiques, organismes, environnement) ; la simulation peut elle remplacer l'expérimentation en milieu naturel ? le développement de nouveaux outils.*

Il a été discuté des expérimentations en conditions naturelles qu'elles soient conduites à court terme ou long terme ; elles ne doivent en tout cas pas être

opposées car elles remplissent des fonctions différentes. Il est clair que les essais de longue durée (par exemple observatoires de recherche en environnement) sont indispensables pour observer, produire des données qui serviront à valider des modèles et conserver des échantillons qui pourront être analysés avec de nouvelles techniques. S'est posée la question de la pérennité de tels dispositifs lourds dans le cadre français, mais il a été souligné que certains pays (UK) ont pu, malgré la précarité des conditions de recherche, maintenir des dispositifs à haute valeur scientifique depuis plusieurs décennies. Concernant les outils utilisés en écologie microbienne, les approches métagénomiques qui s'intéressent à l'ensemble des gènes présents (et plus aux microorganismes) dans un milieu vont probablement se développer à l'avenir. Par ailleurs, les méthodes SIP s'intéressent aux bactéries actives et à celles qui ont accès au substrat et ont donc un intérêt dans les études de biodisponibilité. Il a été également souligné qu'il ne fallait pas oublier la composante fongique de la microflore des sols dans les études sur la MO. Ne pas oublier également le compartiment épigé (plantes) qui n'a été que très peu abordé lors de ces journées.

Session thème 3 : Réactivité des Matières Organiques. Animation : Alexandra Ter Halle, Cécile Miège, Pierre Faure et Pierre Benoît

Cette session du colloque a regroupé des présentations orales et posters couvrant de façon inégale les processus suivants :

- Interactions organo-minérales dans les sols et les sédiments ;
- Evolution dans le temps, (bio)dégradation des matières organiques ;
- Mobilité, biodisponibilité des matières organiques ;
- Interaction des matières organiques vis-à-vis des contaminants métalliques ;
- Interaction des matières organiques vis-à-vis des contaminants organiques.

La très large diversité des champs d'étude et des compétences (pédologues, chimistes, agronomes, modélisateurs, ...) ouverts par ces différents volets montre que le terme de "réactivité" a été interprété de façons très différentes et mériterait d'être défini plus précisément pour la suite.

Séance de posters :

Dans chaque présentation ou poster, la stratégie suivie pour étudier cette réactivité est présentée : elle met en œuvre différents types de méthodes de caractérisation (chimique, biologique, physique) et plus rarement des modèles. Par ailleurs, nous avons pu distinguer très nettement un groupe de présentations traitant des MO particulières et un groupe traitant des MO dissoutes avec une approche différente et rarement un lien entre ces 2 compartiments.

Majoritairement consacrées au milieu tempéré, les communications ont concerné autant les matières organiques naturelles qu'anthropiques. Les MO fossiles ont été peu abordées (3 présentations sur 21). Nous avons noté une très forte représentation des milieux continentaux, en particulier des sols, et une faible représentation du milieu marin. D'autres MO ont été complètement absentes du colloque et de ce thème en particulier : les MO de l'atmosphère et celles de certaines roches.

Il ressort qu'un grand nombre des recherches présentées portent sur la caractérisation des MO sans pouvoir la relier au déterminisme de la réactivité des

MO. Un champ très vaste de recherches semble ouvert pour des travaux visant à caractériser la diversité des matières organiques naturelles et anthropiques. Des développements méthodologiques récents permettent des caractérisations *in situ* des matières organiques dans des matrices complexes, polyphasiques à des échelles de plus en plus fines, allant jusqu'au niveau moléculaire.

En contrepartie, le développement de modèles conceptuels permettant de relier les informations sur la caractérisation des MO et leur réactivité à court et moyen terme reste peu avancé. Lors du débat, il est apparu qu'un effort de clarification d'objectif était nécessaire pour ce qui concerne la modélisation. La modélisation est un outil au service d'objectifs précis. La modélisation peut servir à tester des concepts et des hypothèses sur des processus en jeu dans la réactivité des MO (modèle à base mécaniste). Elle peut être empirique à des fins prédictives, mais se heurte alors à des limites de généralisation.

Synthèse des débats :

L'analyse des présentations et des discussions permet d'identifier plusieurs points faibles :

- Faible intégration entre chimie, physico-chimie et biologie dans les études portant sur la réactivité des MO. Or, dans de nombreux milieux, les processus biologiques exercent un rôle moteur sur l'évolution biochimique des MO.
- Des degrés de connaissance différents de la réactivité des MO liés aux problèmes analytiques : (i) MO dissoutes vs. MO solides. Les premières sont relativement plus faciles à isoler mais elles sont souvent en concentrations très faibles ; (ii) Fraction dissoute hydrophobe vs. fraction dissoute hydrophile. La seconde est moins facile à isoler.
- Des modèles conceptuels existent pour décrire les interactions physico-chimiques avec les métaux, en particulier pour la fraction dissoute des MO. Le développement de tels modèles est moins avancé pour les contaminants organiques. Le problème des contaminations multiples organiques et/ou métalliques est *a fortiori* encore moins abordé.
- Il existe des modèles d'évolution et de dégradation des MO et également des modèles d'interactions avec des contaminants métalliques. Il semble manquer de modèles couplant dynamique d'évolution des MO et interaction vis-à-vis des contaminants.
- Transfert d'échelle. (i) Temporelle : comment passer des dynamiques d'évolution à court/moyen terme à des dynamiques d'évolution à long terme (géosciences) ? (ii) Spatiale : Difficulté de généraliser les résultats obtenus en laboratoire vs. *in situ*, avec un échantillon ponctuel vs. à l'échelle d'un bassin versant.

Session thème 4 : Caractérisation et dynamique des matières organiques anthropiques. Animation : Marie-France Dignac, Edith Parlanti et André Amblès

Ce thème abordait des problématiques finalisées liées aux MO anthropiques dans l'environnement. Les thématiques abordées par la session 4 portaient sur les effets, la dynamique et la caractérisation des Matières Organiques anthropiques :

- **MO anthropiques** : Déchets urbains - Résidus agricoles ; Effluents agro-industriels - Sols pollués ; Eaux

- **Procédés de traitement** : Physiques, chimiques et biologiques
- **Valorisation** des produits issus du traitement des déchets : Recyclage, Amendement des sols.

Deux synthèses complémentaires ont été présentées à l'oral. Jean-Philippe Croué, du Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'Environnement de l'Université de Poitiers parlait des "Matière organique naturelle vs. matière organique anthropique" dans les eaux ; Sabine Houot, de l'UMR EGC à Thiverval-Grignon a présenté un exposé sur la "Caractérisation des matières organiques anthropiques pour comprendre et prédire leurs dynamiques et leurs effets après apport au sol".

Ces deux exposés montraient les liens étroits entre les problématiques sols et eaux. Par exemple, des produits du traitement des eaux, les boues, sont parfois apportés aux sols, et d'autre part, une fraction importante des MO des eaux naturelles, ainsi que certains des polluants organiques qu'elles contiennent proviennent des sols. Ces liens soulignaient l'importance de réunions comme celle de Carqueiranne pour faire se rencontrer les scientifiques de ces deux communautés qui ne se connaissent pas bien. L'objectif final de ces études est de mieux comprendre aujourd'hui l'impact futur des activités de l'homme sur les MO dans l'environnement.

Séance de posters :

C'est le thème 4 qui regroupait le plus grand nombre de posters (29), répartis dans quatre thématiques principales comme indiqué sur la figure 1. Le sous-titre de ce thème était "Composts, Sols Industriels, Eaux Usées/Eaux Potables, Résidus agricoles et agro-industriels..." mais il n'y avait pas de posters portant sur les sols industriels ni sur le traitement des eaux potables.

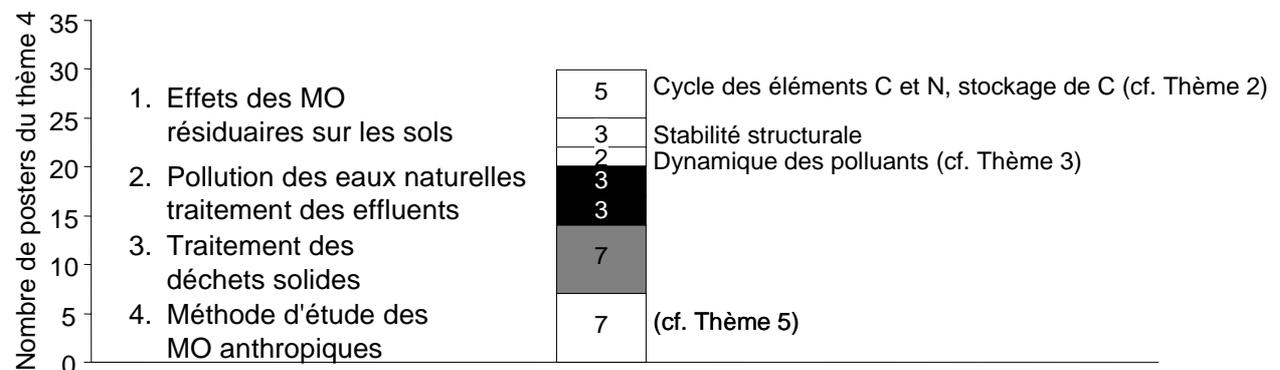


Fig. 3 : Répartition des posters du thème 4 par problématique abordée.

La majorité des posters ont concerné les matières organiques dans les sols (Fig. 3) : leurs effets sur la stabilité structurale (UMR SAS Rennes, INH Angers) ; la dynamique des polluants (UMR EGC Grignon, INRA Versailles) ; leurs effets sur les cycles biogéochimiques et le stockage de C (CIRAD, Université Poitiers, UMR EGC Grignon, Centre des Technologies Agronomiques de Belgique). Plusieurs posters ont traité des MO anthropiques en milieu liquide : traitement des effluents (UMR SAS Rennes, Université Marseille, LSEE Limoges et CrEEEd) ; la pollution des eaux naturelles (CAREN Rennes, G2R Nancy, Université de Lille).

Le traitement des déchets solides a été aussi une problématique largement abordée dans ce thème (INSA Lyon, Université Marseille, LSEE Limoges et CrEEd, BioEMCo Grignon, EGC Grignon, Université de Marrakech et ENSAT-INP Toulouse, Université Poitiers).

Certains des posters du thème 4 pouvaient être rapprochés du thème 5 puisqu'ils présentaient des méthodes de caractérisation des MO anthropiques, par des approches moléculaires (INRA Avignon), des méthodes spectroscopiques (CIRAD et CEREGE, INRA Avignon et CIRAD, Université de Marrakech et ENSAT-INP Toulouse), des fractionnements biochimiques (INRA Narbonne), une caractérisation biologique (Cemagref Rennes et Université de Marseille) ou morphologique (ENSAIA Nancy). Enfin plusieurs posters du thème 5 concernaient aussi la caractérisation des MO anthropiques.

Synthèse des débats :

Les questions qui se posaient et qui ont fait l'objet du débat sont les suivantes :

- **Caractérisation :**

Sait-on caractériser les MO anthropiques? Quelle proportion des MO est caractérisée par les méthodes actuelles? Quelles sont les spécificités par rapport aux MO naturelles? Comparaison déchets solides/sols/eaux: quelles sont les similitudes et les différences? Il est apparu que le terme MO anthropiques désignait pour beaucoup les contaminants organiques, dont l'inventaire est difficile à faire. Pour d'autres le terme MO anthropiques s'entend dans un sens plus large, MO apportées par les activités humaines, comme dans les composts par exemple, et il est alors difficile de les différencier des MO naturelles.

Les questions du devenir de la phase particulaire dans le cas du traitement de l'eau et de la comparaison des MO particulières en entrée et sortie de station d'épuration des eaux ont été discutées. Une question technique a été posée sur la définition du carbone particulaire en fonction des disciplines : (i) Domaine du sol : fraction $> 50 \mu\text{m}$; (ii) Domaine de l'eau : $0.45 \mu\text{m}$ (conventionnel) ; $0.70 \mu\text{m}$ (mesures de COD et eau de mer) ; $0.2-0.1 \mu\text{m}$ (applications biologiques) ; $1 \mu\text{m}$ ou plus au cas par cas. Il convient donc de bien s'entendre pour faire un suivi sol / eau du carbone particulaire. Les définitions imposées par des problèmes méthodologiques (contraintes sur la qualité des filtres utilisés) doivent être adaptées à l'objet à étudier : soluble, colloïdal, particulaire.

- **Dynamique**

Jusqu'à quand est-il possible de rajouter des épandages sur les sols? ; quelle est la capacité maximale à stocker du C? Après arrêt des épandages, est-ce que le carbone stocké va rester ou diminuer? Il est probable que les stocks reviendraient aux teneurs initiales de MO, mais aujourd'hui il n'y a pas d'élément pour le prouver par manque d'essais à long terme. Ces questions mettent en évidence l'importance des essais de longue durée pour l'étude de ces stocks et de leur évolution.

- **Effets**

La nécessité de bien cadrer le recyclage pour éviter les pollutions a été soulignée. La différence d'effets des MO naturelles et anthropiques reste mal connue.

Enfin, il a été suggéré d'inclure également les sciences de l'homme et de la société (déchets fécaux, rituels) dans cette thématique MO anthropiques.

Session Thème 5 : Développements récents pour l'étude des matières organiques. Synthèse des résumés : Yves Dudal

Le thème 5, intitulé « Développements récents pour l'étude des matières organiques » a été structuré de manière différente des quatre premiers. Il n'a pas fait l'objet d'une session à part entière, mais a été réparti sous la forme de trois « Flashs méthodologiques » insérés dans les trois premières sessions du colloque :

- Les analyses isotopiques moléculaires en géosciences (Thème 1) *V. Galy et F. Palhol, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CNRS, Vandoeuvre-lès-Nancy*
- Interactions matières organiques et microorganismes : comment y voir plus clair ? (Thème 2) *F. Poly¹, T. Bouchez², ¹ Ecologie microbienne, CNRS, Villeurbanne ² Unité de Recherche Hydrosystèmes et Bioprocédés, Cemagref Antony*
- Méthodes spectroscopiques pour élucider la nature chimique et la réactivité des matières organiques (Thème 3) *C. Rumpel, CNRS, BIOEMCO, Centre INRA Versailles-Grignon, Thiverval-Grignon*

Par contre, à l'instar des autres thèmes, celui-ci a reçu 20 posters qui ont été discutés lors des séances dédiées. Enfin, les flashs méthodologiques ont fait l'objet de discussions en assemblée et de questions aux orateurs.

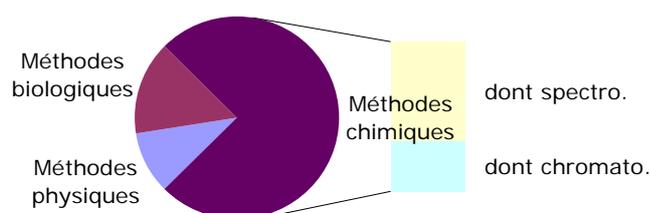


Fig. 4 : Répartition des posters par type de méthode.

La grande majorité des études présentées se basent sur l'utilisation de méthodes chimiques et notamment spectroscopiques : de fluorescence, infrarouge et proche infrarouge, de résonance para-électronique. Les méthodes chromatographiques, plus élaborées, sont la chromatographie par exclusion de taille (HPSEC), la chromatographie liquide couplée à la détection de masse (LC-MS) et la chromatographie gazeuse couplée à la pyrolyse (pyr-GC) et à la spectrométrie de masse (GC-MS). Les méthodes physiques regroupent les études de fractionnement, d'extraction et de concentration.

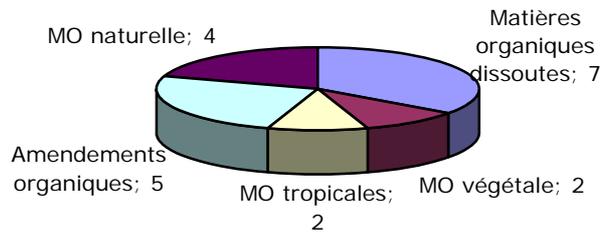


Fig. 5 : Répartition des posters par objet d'étude.

Les matières organiques dissoutes représentent un champ d'intérêt fort à différentes échelles d'étude : moléculaire, profil de sol, bassin versant, estuaire. Ensuite, les méthodes analytiques sont développées pour l'étude des amendements organiques.

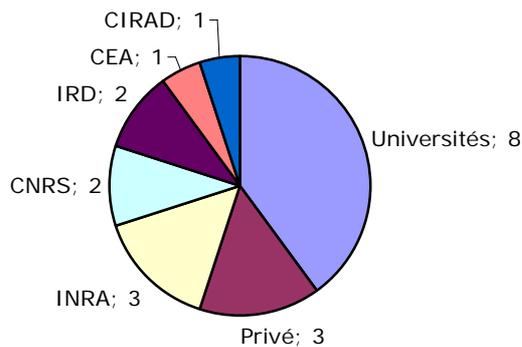


Fig. 6 : Répartition des posters par provenance institutionnelle.

On remarquera la forte présence des Universités sur les développements analytiques ainsi que l'éclatement institutionnel.

De manière générale, deux conclusions fortes ressortent de cette session dédiée aux développements méthodologiques. D'une part, les participants ont noté l'accroissement important de la complexité et donc du coût des méthodes chimiques d'analyse de la MO. Le terme « fuite en avant » a été utilisé et la question s'est posée de savoir si cet accroissement permettrait *in fine* d'obtenir les informations structurales de la MO ou si ces dernières étaient *a priori* non accessibles. D'autre part, un grand besoin de mise en commun des méthodologies utilisées et disponibles s'est fait ressentir lors des discussions, à l'échelle inter-institutionnelle. Ce deuxième point est relié au premier tant la course aux équipements de pointe requiert la participation de nombreuses équipes. La question de l'opportunité des plates-formes analytiques à l'échelle nationale est ouverte.

Conclusion – Perspectives – Prospective scientifique

Thématiques représentées

Les sols et les déchets étaient les deux milieux les mieux représentés à ce séminaire. L'étude des MO dans les eaux continentales était aussi bien représentée. Le milieu océanique était par contre largement absent, soit parce que les acteurs de la recherche française dans ce domaine ne se sont pas reconnus dans ce séminaire MO, soit que les équipes s'intéressant à la caractérisation, aux transformations et à la circulation des MO dans les océans restent peu nombreuses en France. La thématique MO anthropiques est apparue comme une composante très importante des études des MO en France. Dans ce thème assez appliqué, il y avait peu de contributions du CNRS, mais des contributions équilibrées des universités, de l'INRA et d'autres organismes comme le CIRAD ou le Cemagref. Les sciences de l'homme et de la société étaient représentées par des études des MO dans des sites préhistoriques. Une ouverture vers ce domaine pourra être encouragée dans les séminaires futurs.

Les avancées principales

Un fort accent a été mis au cours du séminaire sur la caractérisation des MO, par différentes méthodes de pointe. Un pas important semble être franchi avec le développement des techniques moléculaires, en chimie et en microbiologie. Les représentations fonctionnelles de la matière organique (compartiments résistants et labiles) sont aussi très utilisées. La matière organique n'est plus uniquement abordée en termes d'acides humiques et fulviques, même si ces concepts restent encore présents dans les études sur la réactivité des matières organiques.

Les manques – les points à renforcer

La physique du sol était une thématique largement absente des sessions du colloque. Cette absence peut révéler un manque dans ce domaine au sein de la recherche française. Seuls deux posters abordaient la stabilité de la structure physique des sols à travers l'influence d'apports de MO anthropiques. Les études sur les milieux tropicaux étaient également peu représentées. Manquaient des études en lien avec le couvert végétal, mais également celles en lien avec l'atmosphère (gaz à effet de serre, aérosols). Pour les études concernant la réactivité des matières organiques, le cas des contaminations multiples (métaux, polluants organiques) n'est pas abordé. Dans les sols, la thématique « black carbon » n'a été abordée que dans un poster, et une implication d'équipes françaises travaillant sur les feux de végétation serait bienvenue. Enfin deux problématiques attendues étaient absentes de ce colloque, les sols pollués et le traitement des eaux potables. La modélisation, qui permet d'aborder la complexité des processus a été beaucoup discutée lors des débats, mais la faible représentation des modélisateurs à ce séminaire a été soulignée. Enfin a également été soulignée la disparition de certaines compétences notamment en systématique.

Perspectives : Développer des ponts entre les disciplines

Ce premier séminaire du réseau MO a permis de faire se rencontrer des communautés qui ont le même objet d'étude, les MO, mais dans des milieux, à des échelles de temps et avec des finalités différentes. Ceci a mis en évidence de nombreux points communs, en particulier méthodologiques, mais également une méconnaissance mutuelle des communautés et la nécessité de développer ou renforcer les interactions entre elles. Par exemple, peu d'études font le lien entre

les MO actuelles et passées, thématiques qui sont abordées par des communautés distinctes, qui utilisent pourtant de nombreux outils communs. Le vivant était peu représenté dans ce séminaire, et il serait judicieux d'intégrer davantage son étude à la géochimie. Une connexion entre disciplines nécessaire et peu développée aujourd'hui en France concerne le devenir des MO terrestres dans l'océan. Il serait également fructueux de comparer les MO dissoutes et particulaires dans les eaux et dans les sols pour mieux comprendre leur transfert. Enfin a été discuté à plusieurs reprises l'intérêt de mettre en place et soutenir des dispositifs ou des observatoires de longues durées qui servent de bases d'accueil à des équipes de recherche.

Perspectives : les avancées futures

Les avancées futures envisagées concernent le rapprochement des communautés scientifiques différentes (géologie par exemple), l'élargissement des réflexions à une échelle plutôt européenne. A été soulevée également la prise en compte de la demande sociale vis-à-vis de questions touchant au carbone (taux de matières organiques des sols). Enfin une avancée pourrait être le franchissement de frontières notamment pour les microbiologistes qui pourraient investir le champ de l'écologie microbienne. Enfin au niveau méthodologique, des méthodes d'avenir sont apparues, outre l'utilisation croissante des couplages entre analyses moléculaires et isotopiques et de la biologie moléculaire qui semblent devoir continuer à se développer. Le couplage entre immunologie et microscopie, bien qu'encore peu accessible est très prometteur. La cartographie par nano-SIMS est aussi en fort développement dans différentes disciplines et pourrait apporter beaucoup à l'étude des fonctionnalités des matières organiques.

En terme de prospectives, les mots-clés qui ressortent des différents thèmes de cette rencontre sont les suivants : méthodologie, modélisation et complexité.

Objet d'étude particulièrement complexe, la MO interagit fortement avec le vivant, complexe, et se retrouve dans un milieu particulièrement complexe, le sol ou les eaux. Le Séminaire a montré que les ponts entre disciplines peuvent véritablement servir à décomplexifier la situation. Les projets d'organisation de futures rencontres vont clairement intégrer cette nécessité de ponts interdisciplinaires. Le deuxième élément apporté consiste en un effort de formation auprès du public, d'où la volonté d'organiser des Ecoles-chercheurs.

Quelque soit le domaine d'étude, les participants ont exprimé les difficultés rencontrées face aux évolutions rapides et complexes de la méthodologie. La nécessité permanente de se tenir à jour dans de nombreux domaines où les méthodes évoluent rapidement (chimie analytique, écologie microbienne, etc.) est vécue comme une grande difficulté. Les « flash méthodologiques » proposés au cours du Séminaire ont rencontré un grand intérêt auprès du public, répondant à un réel besoin d'information. Le Réseau MO a donc mis en place un groupe d'organisation et d'animation d'une Ecole-Chercheur dédiée aux méthodologies. Celle-ci est prévue en juin 2007 et permettra de faire intervenir des spécialistes internationaux en donnant au public un accès privilégié à l'information. De plus, la base de données du Réseau MO sera mise à jour au courant de l'année à venir, ce qui permettra à tous les membres de trouver les équipements analytiques disponibles en France et ouverts à la collaboration.

Concernant la modélisation, celle-ci intervient au niveau de nombreux aspects de l'étude des MO : structure, réactivité, devenir, etc. Les prochaines Ecoles-chercheurs organisées par le Réseau MO feront appel entre autres à des

modélisateurs afin de susciter les collaborations nécessaires concernant l'utilisation de la modélisation pour la MO. Une deuxième école-chercheur est prévue en octobre 2007 sur le thème « Interactions polluants-MO ». Une journée complète dédiée à la modélisation est prévue au sein de cette Ecole.

Enfin, face à l'enthousiasme général suite à ce premier Séminaire, tous les membres du comité ont décidé d'organiser une seconde rencontre générale en mai 2008.

- Programme du Séminaire -
« Les Matières Organiques en France : Etat de l'Art et Prospectives »
co-organisé par
Le Réseau Matières Organiques et
Le Groupe Français de l'IHSS
du 22 au 24 janvier 2006
à Carqueiranne (83), VVF La Valérane

Chaque session est animée par des membres du Comité Scientifique du Séminaire. Deux ou trois interventions orales de synthèse introduisent les débats qui ont lieu après les discussions autour des posters. Dans chaque session, un « flash méthodologique » apporte des éléments sur les derniers développements dans le domaine (Thème 5 : Développements récents pour l'étude des matières organiques). Les posters restent affichés durant les deux jours du Séminaire et constituent le cœur des rencontres.

D I M A N C H E 2 2 J A N V I E R 2 0 0 6

Accueil – à partir de 17h jusque 22h.

20h – 22h : Apéritif – Dîner - Présentation Réseau MO et IHSS

L U N D I 2 3 J A N V I E R 2 0 0 6

Session thème 1 :

Cycle des matières organiques actuelles et passées : géochimie

8h30-8h45 : Ouverture de la session animée par Marc Benedetti et Jérémy Jacob

8h45-9h05 : Etude in-situ de la composante organique de microfossiles précambriens : nouvelles approches

P. Labrot et F. Westall

Centre de biophysique moléculaire, CNRS, Orléans

9h05-9h25 : Cycles biogéochimiques et climat à l'échelle des temps géologiques

Y. Goddérès

CNRS – Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie, Toulouse

9h25-9h45 : cycles biogéochimiques (carbone/azote) dans les sols: processus, stocks, bilans, transferts (en attente du titre définitif)

B. Mary et coll.

INRA Agronomie, Laon

9h45-10h : Flash méthodologique – Les analyses isotopiques moléculaires en géosciences

V. Galy et F. Palhol, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, CNRS, Vandoeuvre-lès-Nancy

10h-11h : Posters et cafés

11h-12h : Débat

12h – 14h : Repas

Session thème 2 :

Cycle des matières organiques actuelles et passées : biochimie

14h-14h15 : Ouverture de la session animée par Bernard Nicolardot et Jean-Luc Chotte

14h15-14h35 : Traçage isotopique moléculaire des échanges de carbone plantes-microorganismes-sol

O. Berge, F. el zahar Haichar, D. Derrien, C. Santaella, M. Péan, C. Marol, T. Heulin, W. Achouak et J. Balesdent

CEA, Laboratoire d'Ecologie Microbienne de la Rhizosphère, St-Paul-Lez-Durance

CEA, Groupe de Recherches Appliquées à la Phytotechnologie, St-Paul-Lez-Durance

14h35-14h55 : Relation matière organique et communautés microbiennes : cas des sols tropicaux

A. Brauman, E. Blanchard, F. Bernhard-Reversat, N. Fromin, S. Sall et J.L. Chotte

IRD Montpellier

14h55-15h15 : Rôle de l'accumulation de la matière organique marine dans l'évolution de l'environnement planétaire et dans sa régulation

P. Bertrand, CNRS, Environnements et Paléoenvironnements Océaniques, Université Bordeaux 1, Talence

15h15-15h30 : Flash méthodologique – Interactions matières organiques et microorganismes : comment y voir plus clair ?

F. Poly¹, T. Bouchez²

¹ *Ecologie microbienne, CNRS, Villeurbanne*

² *Unité de Recherche Hydrosystèmes et Bioprocédés, Cemagref Antony*

15h30-16h30 : Posters et cafés

16h30-17h30 : Débats

19h : Apéritif / Dégustation de vins de la région varoise

20h – 22h : Dîner

M A R D I 2 4 J A N V I E R 2 0 0 6

**Session thème 3 :
Réactivité des Matières Organiques**

8h-8h15 : Ouverture de la session animée par Alexandra Ter Halle, Cécile Miège et Pierre Benoit

8h15-8h35 : Association organo-minérale dans les sédiments et les sols : formation-organisation-propriétés

*P. Gautret, C. Chenu, X. Bourrat et F. Elsass
CNRS Orléans*

8h35-8h55 : Réactivité de la matière organique
Maturation thermique – oxydation – biodégradation – lessivage
De l'approche expérimentale aux processus naturels

*P. Faure, M. Elie, Y. Hautevelle, E. Jardé, L. Jeanneau, F. Lannuzel, L. Mansuy, R. Michels
CNRS - G2R « Géologie et Gestion des Ressources Minérales et Energétiques », Université
Henri Poincaré, Vandoeuvre les Nancy*

8h55-9h15 : Soil solution DOC varies in quantity and quality after rewetting air-dried soils

*E. Smolders, K. Oorts and F. Degryse
Division Soil and Water Management, K.U.Leuven*

9h15-9h30 : Flash méthodologique – Méthodes spectroscopiques pour élucider la nature chimique et la réactivité des matières organiques.

*C. Rumpel
CNRS, BIOEMCO, Centre INRA Versailles-Grignon, Thiverval-Grignon*

9h30-10h30 : Posters et café

10h30-11h30 : Débat

11h30 – 13h : Repas

**Session thème 4 :
Caractérisation et dynamique des matières organiques anthropiques**

13h-13h15 : Ouverture de la animée conduite par Marie-France Dignac, Edith Parlanti et André Amblès

13h15-13h35 : Azote organique : Distribution, caractérisation et réactivité

*J-P Croué, S. Ambonguilat, Y. Touchard et H. Gallard
Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'Environnement, Université de Poitiers*

13h35-14h : Caractérisation et dynamique des matières organiques anthropiques dans les sols (en attente du titre définitif)

*S. Houot, C. Francou, V. Parnaudeau, M.F. Dignac et L. Thuriès
INRA, Environnement et Grandes Cultures, Grignon*

14h-15h : Posters et café

15h-16h : Débats

16h : Clôture

C O M I T E S C I E N T I F I Q U E

André Amblès, Université de Poitiers, UMR Synthèse et réactivité des substances naturelles

Marc Benedetti, Université Paris 7, UMR Géochimie des eaux

Pierre Benoit, INRA Versailles-Grignon, UMR Environnement et grandes cultures

Jean-Luc Chotte, IRD Montpellier, UR Séquestration du carbone et bio-fonctionnement des sols

Marie-France Dignac, INRA Versailles-Grignon, UMR Biogéochimie et écologie des milieux continentaux

Yves Dudal, INRA Avignon, UMR Climat, sol et environnement

Pierre Faure, CNRS Nancy, UMR Géologie et gestion des ressources minérales et énergétiques

Jérémy Jacob, Université Orléans, UMR Institut des sciences de la terre d'Orléans

Cécile Miège, Cemagref - Groupement de Lyon, Laboratoire des Micropolluants Organiques

Bernard Nicolardot, INRA, Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons

Edith Parlanti, CNRS Bordeaux, UMR Physico-toxico chimie des systèmes naturels

Alexandra Ter Halle, Université de Clermont-Ferrand, Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire