

**Journée scientifique**  
**« Piégeage des contaminants chimiques dans les milieux naturels :  
rôles majeurs joués par les interfaces organominérales et biologiques »**  
**30 septembre 2014**

**Espace Grenelle, 84 rue de Grenelle 75007 Paris**

**Compte rendu de la journée**

**Programme de la journée**

**- 9h30-10h00 : Introduction de la journée**

**Session 1 : Quels rôles joués par les interfaces organominérales dans le piégeage des contaminants chimiques dans les sols?**

- 10h00-10h40 : Contamination des sols par les éléments en traces : sources, processus et mobilité, Cécile Quantin (GEOPS, U-PSud/CNRS)

- 10h40-11h20 : Piégeage et dégradation des contaminants par les nanooxydes de fer dans les eaux et les sols, Sandy Ardo, Guillaume Morin, Sylvie Néliu, Georges Ona-Nguema (IMPMC, CNRS/UPMC/MNHN – PESSAC, INRA)

**Session 2 : Quels rôles des interfaces « biologiques » dans le piégeage/transfert des contaminants chimiques?**

- 11h20-12h00 : Particules et métaux urbains en rivière : spéciation, mobilité et biodisponibilité, Sophie Ayrault (LSCE, CEA/CNRS/UVSQ)

- 12h00-12h40 : Physico-chimie des interfaces sol-air et plante-air pour l'étude des échanges de polluants et gaz à effet de serre, Carole Bedos et Benjamin Loubet (EGC, INRA/AgroParisTech)

**- 12h40-14h20 : Buffet et session posters**

**Session 3 : Quelle modélisation des interfaces et de leur rôle dans le piégeage des contaminants chimiques?**

- 14h20-15h00 : Prise en compte des interfaces minérales et organiques dans la modélisation du devenir des contaminants : quels besoins de recherche? Isabelle Lamy (PESSAC, INRA)

- 15h00-15h40 : Modélisation de la bioaccumulation des métaux chez le gammare : du laboratoire au terrain, Jérémie Lebrun *et al.* (HBAN, Irstea/FIRE)

- 15h40-16h00 : Thé - Café

- 16h00-17h00 : Discussion générale et conclusions de la journée

La journée a été introduite par C. Mougin au titre de l'INRA, par G Calas au titre du DIM Oxymore, par C. Blanc du Labex BASC et par J. Garnier au titre de la Fédération FIRE.

### Principaux objectifs

Les objectifs de cette journée scientifique étaient de favoriser les échanges interdisciplinaires entre biologistes, chimistes et physiciens concernés par la problématique en Île de France. Dans le cadre du DIM OXYMORE, elle a un triple objectif :

- de resituer les enjeux environnementaux dans le domaine concerné et de présenter quelques résultats récents obtenus par les équipes de recherche franciliennes,
- de sensibiliser les équipes de physique, de chimie et de biologie partenaires dans le réseau régional OXYMORE aux concepts et processus en jeu par la réactivité des interfaces, et approches analytiques ou des outils numériques ou théoriques,
- de favoriser le rapprochement entre les équipes franciliennes afin de proposer des réponses coordonnées aux différents appels à projets.

Les participants comprenaient des scientifiques du Labex BASC et de la fédération FIRE concernés thématique des interfaces, mais également des chercheurs de laboratoires rattachés au DIM Oxymore. Une cinquantaine de participants dont une dizaine d'étudiants du parcours Géochimie Environnementale, de la spécialité Environnement Continentaux et Hydrosociences (ECH) du master Sciences de l'Univers Ecologie et Environnement (SDUEE) de l'Université Pierre et Marie Curie ont participé à la journée.

### Thèmes abordés

**La session 1** a principalement traité de la contamination des sols par les éléments métalliques en traces.

Situés à la surface de la Terre, ils sont à la fois sources et réceptacles de contaminants dont la dynamique temporelle et spatiale est la résultante de nombreuses interactions entre processus biotiques et abiotiques. De nombreuses études ont montré que ces processus modifient la forme chimique des contaminants et leur association avec les phases solides présentes dans les sols, i.e. leur spéciation, qui contrôle largement leur biodisponibilité et donc toxicité potentielle.

Cependant, le développement de scénarii permettant de prédire le devenir de ces éléments, comme les métaux, nécessite d'approfondir nos connaissances sur la relation étroite entre réactivité des phases porteuses et biodisponibilité, le traçage des sources et des processus affectant ces contaminants, la durée de ces processus et du transfert des contaminants dans et hors du sol, l'impact d'un changement d'usage, ... Plusieurs études récentes ont illustré les avancées mais aussi les besoins tant scientifiques que techniques.

Les sols sont également un lieu de piégeage et de dégradation des contaminants, notamment par les nanooxydes de fer qu'ils renferment. Ainsi, les (oxyhydr)oxydes de fer, qui sont très répandus dans notre environnement, présentent une grande variété de structures polymorphes qui peuvent être utilisés comme traceurs des conditions physico-chimiques de leur formation, en particulier redox et pH. En outre, les défauts structuraux et les impuretés organiques et inorganiques qu'ils contiennent sont également des

indicateurs potentiels de leurs voies de formation, soit biotiques ou abiotiques. En outre, lorsqu'ils sont formés à la température ambiante, les minéraux de fer ont généralement une taille très inférieure au micron, jusqu'à quelques nanomètres, ce qui augmente leur surface spécifique et leur réactivité de surface vis-à-vis des polluants. Bien que les propriétés de ces minéraux ont été étudiés depuis plusieurs décennies, la description de leurs propriétés de surface et de volume à un niveau moléculaire a été considérablement améliorée récemment grâce à X-ray spectroscopie d'absorption et d'autres techniques. Certains progrès récents concernant la structure de ces nanominéraux et le statut des impuretés adsorbées ou co-précipitées ont été présentés. Les réactions d'oxydoréduction à la surface de ces minéraux qui influencent les propriétés de piégeage des polluants sensibles aux conditions redox seront également abordées. Nous focaliserons notamment sur de nouvelles applications de ces nanominéraux pour la dégradation des contaminants organiques.

**La session 2** s'ouvrait à d'autres compartiments des écosystèmes.

Dans ce contexte, la perturbation des cycles biogéochimiques des éléments traces dans les rivières urbanisées pose des questionnements. Dans les systèmes aquatiques, les polluants inorganiques, couramment rassemblés sous le vocable de « métaux », ont très souvent une affinité forte pour la fraction solide (sédiments déposés et particules en suspension). Ces interactions gouvernent la mobilité des métaux entre les différents compartiments de la colonne d'eau et leur biodisponibilité pour des organismes aquatiques et dépend de nombreux facteurs environnementaux et anthropiques.

Plusieurs études, toutes situées dans le bassin de la Seine, à différentes échelles de temps et d'espace, ont exploré les interactions entre les métaux et les particules, qu'elles soient héritées des sols, formées dans la colonne d'eau ou issues de sources anthropiques. Ainsi, l'affinité des métaux d'origine urbaine, dont le zinc, pour les particules évolue avec le degré d'urbanisation. Le couplage de différentes approches analytiques, chimiques et physiques, couplage rendu nécessaire par la complexité des processus à l'œuvre, nous permet de décrire finement la nature des phases particulières porteuses de métaux et d'en décrire l'évolution en fonction de l'hydrodynamisme de la rivière. Au travers de ces travaux, issus de collaborations au sein du PIREN-Seine, des verrous ont été levés, d'autres ont été identifiés.

La modélisation prédictive des échanges de gaz à effet de serre ( $N_2O$ ) et de polluants (pesticides, ammoniac, ozone, oxydes d'azote, COV, HAP, PCB, aérosols) entre la biosphère et l'atmosphère est un enjeu majeur pour la communauté scientifique. En effet, ces échanges constituent un maillon clé dans la prévision du processus de réchauffement climatique et des impacts de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes, d'une part du fait de l'incertitude qui existe sur leur quantification actuelle et leur modélisation future (exemple du  $N_2O$  et du  $NH_3$ ), et d'autre part du fait de l'importance de ces processus pour le fonctionnement de la biosphère et de l'atmosphère. Un des verrous actuels reste le déterminisme physico-chimique des équilibres entre phases liquide, gazeuse et solide aux interfaces sol-air et plante-air. À titre d'exemples, le rôle de la surface sèche du sol dans les échanges de pesticides et d'ozone a été démontré expérimentalement mais la compréhension des mécanismes sous-jacents reste discutée. De même, l'effet de la structure physico-chimique des surfaces végétales et de leur état (présence d'aérosols déliquescents, de bactéries) modifie l'affinité de l'eau superficielle et des composés atmosphériques pour ces surfaces. La question générale qui est posée est alors la suivante : « Quel est le rôle spécifique des interfaces sol-eau-air et plante-eau-air et des processus d'interaction associés dans le contrôle des échanges de polluants et de gaz à effet de serre entre l'atmosphère et les écosystèmes terrestres ? » Les questions scientifiques qui en découlent ainsi que la démarche envisagée, basée notamment sur les études des échanges de composés atmosphériques avec les surfaces végétales et du sol en mobilisant les concepts de physico-chimie des aérosols et des surfaces, ont été présentés.

**La session 3** a permis d'aborder des questions de modélisation du devenir des métaux dans les écosystèmes terrestres et aquatiques.

Les données concernant le devenir des contaminants dans les écosystèmes sont indispensables pour pouvoir aborder les concepts tels que la biodisponibilité, l'écotoxicité ou l'écodynamique des polluants dans l'évaluation des risques. La modélisation du devenir des contaminants met en jeu l'ensemble des constituants réactifs des milieux considérés et l'ensemble des réactions possibles avec les polluants qu'il faut pouvoir décrire. Au-delà des modèles empiriques, des modèles simplifiés, semi-mécanistiques existent. Ils prennent en compte seulement les interfaces les plus réactives et ont été testés sur plusieurs milieux. Mais ce sont les modèles prédictifs de type mécaniste qui renseignent le mieux sur les différentes formes présentes de polluants. Ces modèles cependant présentent l'inconvénient d'être difficiles à paramétrer. Des exemples ont été donnés sur les interfaces minérales et organiques nécessaires à renseigner pour ces modèles, et les approximations qui sont généralement faites par manque de connaissance. L'importance de la connaissance de ces interfaces sera soulignée notamment pour ce qui concerne les matières organiques au sens large.

En milieu aquatique, le processus de bioaccumulation permet d'intégrer les capacités des organismes à réguler les contaminants métalliques et les effets des propriétés chimiques de l'eau sur la biodisponibilité des métaux. De ce fait, la détermination de la contamination du biota, dans des milieux souvent faiblement contaminés, offre des perspectives séduisantes pour évaluer la biodisponibilité des métaux, fraction potentiellement toxique pour les organismes. En raison de sa large distribution en Europe et ses rôles écologiques, l'amphipode *Gammarus pulex* est un candidat largement retenu comme outil de biomonitoring. Ces dernières décennies, des modèles biodynamiques ont été proposés pour décrire la bioaccumulation des métaux et faire le lien entre la contamination du milieu et celle des organismes. Leur construction nécessite de formaliser, dans des conditions contrôlées de laboratoire, les capacités des organismes à accumuler et à éliminer les métaux, et les effets de la chimie de l'eau sur la prise métallique. Toutefois, la pertinence environnementale de tels modèles obtenus expérimentalement pour prédire la bioaccumulation reste à être évaluée dans conditions naturelles.

Afin d'évaluer la pertinence d'utiliser le gammarus comme outil biologique pour quantifier la biodisponibilité des métaux dans les cours d'eau, différents modèles intégrant les facteurs physiologiques et chimiques contrôlant la bioaccumulation de métaux, essentiels (Ni, Cu, Zn) ou non (Cd, Pb), ont été construits dans des conditions contrôlées. La qualité prédictive des modèles de bioaccumulation a été ensuite évaluée à partir de gammarus autochtones prélevés in situ sur une soixantaine de sites présentant des propriétés physicochimiques et des niveaux de contaminations contrastés à l'échelle du bassin versant de la Seine.

## **Bilan de la journée**

La journée s'est déroulée dans un cadre agréable et une ambiance conviviale. Le contact entre les orateurs et le public a été apprécié, à la fois lors des exposés et pendant les pauses. A noter toutefois que peu de présentations ont concerné les polluants organiques.

Quelques pistes pour de prochaines rencontres :

- Inviter des acteurs du monde entrepreneurial et des collectivités territoriales (NB : ceci avait été fait lors la journée BASC/FIRE/DIM Astrea du 25 mars dernier, mais avec une très faible participation de ces acteurs),
- Améliorer la communication autour de ces journées, par exemple avec des newsletters,
- Faire une journée de présentation des projets soutenus par BASC ou le DIM,
- Réserver un temps d'échange étudiants/chercheurs pour échanger d'avantage et pourquoi pas aboutir à des rapprochements qui pourraient se traduire à travers des propositions de stages, thèse ou emplois,

## Suites à donner à cette journée

Avec enthousiasme, les participants se sont donné rendez-vous en mars 2015 pour une nouvelle rencontre au cours de laquelle pourraient être abordés des thèmes tels que l'écotoxicologie des paysages ou la définition du site « idéal » pour les études écotoxicologiques intégratives en Ile-de-France.

## Communication

La journée a été annoncée sur les sites internet de la Fédération FIRE (<http://www.fire.upmc.fr/>), du Labex BASC (<http://www6.inra.fr/basc>) et du DIM Oxymore (<http://www.dim-oxymore.fr/>). Les documents, présentations ainsi que ce compte-rendu y sont téléchargeables.

Le résumé ci-dessous a été publié dans la Newsletter N°5 (novembre 2014) du Groupe de Travail « Environnement Terrestre » du CEA.

« Le LabEx BASC (Biodiversité, Agroécosystèmes, Sociétés, Climat) et la fédération FIRE (Fédération de Recherche Ile-de-France en Environnement), regroupements de laboratoires franciliens, avec le soutien du DIM OXYMORE, ont organisé le 30 septembre 2014 une journée scientifique sur le thème : « **Piégeage des contaminants chimiques dans les milieux naturels : rôles majeurs joués par les interfaces organominérales et biologiques** ».

Les interfaces jouent un rôle clé dans le piégeage des contaminants chimiques des milieux naturels, qu'ils soient organiques ou minéraux. Les impacts sur la dépollution des compartiments (sol, eau, air) et/ou les effets écotoxiques aux interfaces doivent être mieux évalués. On a cherché à favoriser les échanges interdisciplinaires entre biologistes, chimistes et physiciens concernés par la problématique en Île de France autour de trois questions :

- (1) Quels rôles sont joués par les interfaces organominérales dans le piégeage des contaminants chimiques dans les sols ?
- (2) Quels rôles assurent les interfaces « biologiques » dans le piégeage/transfert des contaminants chimiques ?
- (3) Quelle modélisation pour les interfaces et leur rôle dans le piégeage des contaminants chimiques et leurs impacts écotoxicologiques éventuels ?

L'objectif a été atteint grâce à une organisation favorisant les discussions. En effet, les présentations s'attachaient à présenter les verrous identifiés dans chaque discipline, et les discussions ont été riches entre les participants (48 inscrits dont 10 étudiants du Master SDUEE ECH (UPMC) qui ont participé activement à la discussion). Sophie Ayrault y a fait une présentation intitulée « Particules et métaux urbains en rivière : spéciation, mobilité et biodisponibilité ».

Avec enthousiasme, les participants ont pris rendez-vous pour mars 2015 pour une nouvelle rencontre au cours de laquelle pourraient être abordés des thèmes tels que la notion émergente **d'écotoxicologie des paysages** ou la définition du **site « idéal »** pour les études écotoxicologiques intégratives en Ile-de-France. »

Pour le comité d'organisation, C. Mougin  
Versailles, le 30 octobre 2014