

DEMANDE D'ALLOCATION DE RECHERCHE DE L'ED SISEO

Année universitaire 2017-2018

SUJET DE THESE

<p>1. LABORATOIRE</p> <p>Nom ou sigle : <i>CARTEL</i> Statut : <i>UMR INRA - USMB</i></p>	<p>2. DIRECTION DE THÈSE</p> <p>Directeur de thèse (HDR) : <i>Jean-Christophe CLEMENT</i> Codirecteur éventuel : <i>Emilie LYAUTEY et Magali ROSSI (EDYTEM)</i></p>
<p>Domaine de compétences de l'ED SISEO :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Environnement <input checked="" type="checkbox"/> - Organisations <input type="checkbox"/> - Systèmes <input type="checkbox"/> 	<p>Collaborations éventuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>USMB : EDYTEM et LCME</i> - <i>UR MALY IRSTEAL Lyon-Villeurbanne</i> - <i>UGA : LECA et IGE</i>
<p style="text-align: center;">3. SUJET DE THÈSE</p> <p>Titre : <i>Contaminants métalliques et écosystèmes d'altitude : mécanismes de transferts à l'échelle du bassin-versant et réponse fonctionnelle des communautés microbiennes</i></p>	
<p style="text-align: center;">4. RESUME</p> <p>Ce projet vise à caractériser les contaminations métalliques autour de sites miniers alpins afin de pouvoir mieux appréhender les échelles, voire les vitesses de dispersion des ETM, les processus de transferts et la rémanence des métaux contaminants dans un environnement de montagne. Pour cela, une approche source-puits sera privilégiée, combinant plusieurs proxies (minerais, résidus minier, sols, eaux, sédiments, communautés microbiennes des sols et des sédiments), à travers une approche interdisciplinaire basée sur une étude de cas (terrain, étude d'échantillons, etc.) et des expérimentations sur les communautés microbiennes des sédiments et des sols. A moyen terme, il s'agira de réaliser une étude comparative entre le site de Peisey-Nancroix (ancienne exploitation minière de plomb argentifère) et d'autres sites miniers nord-alpins (le district Fe-Cu de St-Georges d'Hurtières et le district Pb-Ag de Brandes). L'objectif principal est de déterminer les transferts des éléments traces métalliques (ETM) depuis la matrice minérale vers les communautés microbiennes présentes dans les sols et les sédiments lacustres et de rivière sur le bassin-versant. Le rôle du doctorant sera double : (i) établir une cartographie des teneurs en ETM dans les sols de surface et dans les sédiments et identifier les phases minérales porteuses des ETM et les processus de transferts à l'échelle d'un bassin-versant, et (ii) caractériser l'effet des ETM sur le fonctionnement des communautés microbiennes des sols et des sédiments (activités enzymatiques extracellulaires, productions gazeuses, abondance des gènes supportant les fonctions mesurées et la résistance aux ETM). Cela permettra notamment de déterminer le rôle de la matrice et des conditions rédox. L'année 2017, qui précèdera le début de la recherche doctorale sera consacrée à l'échantillonnage des différents proxies sur le site de Peisey-Nancroix, à l'instrumentation du site, à des analyses minéralogiques préliminaires, et au développement méthodologiques pour évaluer l'impact des ETM sur le fonctionnement des communautés microbiennes (adaptation de protocoles existants dans les équipes impliquées pour caractériser les effets du Cu et de l'As à la problématique d'exposition au Pb). Le doctorant s'appuiera sur ces résultats préliminaires, qui seront acquis dans le cadre d'un projet INSU-EC2CO (porteur M. Rossi, EDYTEM, collab. CARTEL et IRSTEAL Lyon-Villeurbanne) dont le financement 2017 vient d'être obtenu, pour débiter sa thèse.</p>	

4. SUMMARY

This project aims to characterize metallic contamination around alpine mining sites to better understand MTEs (metallic trace elements) dispersal scales and rates, their transfer processes and their persistence in a mountain settling. In order to do so, a source-sink approach will be favored, combining several proxies (minerals, mining residues, soils, waters, sediments, and soils and sediments microbial communities), using an interdisciplinary approach based on a case study (field work, sample characterization, etc.) and experimentations on sediment and soil microbial communities. A comparative study will be carried out between Peisey-Nancroix mining site (a former silver mine) and other northern Alps mining sites (the Fe-Cu district of St-Georges d'Hurtières and the Brandes Pb-Ag district). The main objective is to determine MTEs transfer from the mineral matrix to soil and lake and river sediment microbial communities at the watershed scale. The PhD candidate is expected to (i) map the ETMs levels in soils and sediments, identify the mineral phases carrying the MTEs, and determine the transfer processes at the watershed scale, and (ii) characterize the effects of MTEs on soils and sediments microbial communities' functions (extracellular enzyme activities, gas production, function genes abundance and MTEs resistance genes). This will allow determining the involvement of the matrix and redox conditions. In 2017, before the beginning of the doctoral research, sampling of the different proxies at site Peisey-Nancroix, site instrumentation, and preliminary mineralogical analyzes and methodological development will be undertaken to evaluate the impact of MTEs on microbial communities' functions (adaptation of already existing protocols developed to assess Cu and As consequences to Pb exposure). The PhD candidate will construct his own thesis work on these preliminary results, which will be acquired within the framework of an INSU-EC2CO funded project (M. Rossi (PI), EDYTEM, 2017-2018, in collaboration with CARTEL and IRSTEA-Lyon-Villeurbanne).

5. PROJET DE RECHERCHE DETAILLE

Les écosystèmes aquatiques et plus particulièrement leurs compartiments benthiques sont les réceptacles d'apports d'origines autochtones et allochtones. A l'échelle du bassin-versant, lors de transferts vers les écosystèmes aquatiques, des contaminants sont transportés sous formes liées à des particules organiques ou inorganiques¹. Parmi ces contaminants, les éléments traces métalliques (ETM ; regroupant les métaux et les métalloïdes) se retrouvent de manière ubiquiste dans tous les compartiments de l'environnement du fait d'apports naturels (altération physique et chimique des roches) et anthropiques (industrie, agriculture...). Le devenir des ETM dans les milieux aquatiques est étroitement lié à leur distribution entre la phase dissoute et la phase solide. Les ETM sont notamment connus pour être majoritairement véhiculés sous forme particulaire dans les eaux de surfaces continentales². En effet, leur distribution est généralement largement en faveur de la phase solide qui présente des concentrations de plusieurs ordres de grandeurs supérieures aux concentrations dans la phase dissoute³. Les sédiments constituent ainsi généralement le plus grand réservoir d'ETM dans les systèmes aquatiques⁴. Toutefois, l'évaluation de la contamination en ETM dans les sédiments est complexe, puisque leurs concentrations sont notamment largement conditionnées par la granulométrie du sédiment, en raison d'une surface spécifique plus importante des particules pour fixer les métaux contrairement aux particules plus grossières⁵.

La France possède un long passé minier, avec des exploitations débutant à l'Antiquité, une apogée au Moyen-Âge et au XIXe siècle^{6,7,8,9}, puis un déclin des activités minières ayant abouti à la fermeture des dernières mines dans les années 1970-1980. Les activités minières impactent fortement les écosystèmes, en modelant le paysage et en excavant des minéraux sulfurés qui libèrent des ETM (Pb, Sn, As, Cd, Cu, Hg...) dans l'environnement. Les haldes et résidus des mines anciennes (ante-XXe siècle) peuvent contenir plusieurs pourcents de métaux mobilisables. Le lessivage des ETM contenus dans ces déchets miniers abandonnés contribue à leur dispersion dans l'environnement et peut engendrer des contaminations sur le district minier et en aval. Des perturbations physico-chimiques (modification du pH ou du rH), mécaniques (dragage) ou biologiques (bioturbation) du milieu peuvent induire un relargage des contaminants dans l'eau en contact, augmentant ainsi leur biodisponibilité et leurs effets écotoxiques pour les populations des écosystèmes aquatiques récepteurs¹⁰. Dans les sols, la forme des ETM (adsorption sur la matière organique, sur des oxydes de Fe ou de Mn, sur le complexe d'échange cationique, et parfois sous forme dissoute) contrôle leur mobilité, leur biodisponibilité et leur toxicité¹¹. **La question de la mobilisation de ces contaminants métalliques dans l'environnement, de leur biodisponibilité, et de leur impact sur la diversité et les fonctions assurées par les communautés des écosystèmes impactés se pose donc, et les exploitations minières intégrées dans des approches à l'échelle de bassin-versants**

représentent des sites ateliers pertinents pour les appréhender. Des sites judicieusement choisis pour intégrer des gradients de contamination existants et des sites de références alentours permettront de tester des notions de résistance, résilience et redondance fonctionnelle qui s'appliquent particulièrement bien aux communautés microbiennes.

Des études multi-proxies (sols, sédiments lacustres et de rivières, eaux) ont vu le jour autour d'exploitations de grande taille, voire de taille mondiale, récemment arrêtées^{12,13,14}. Les pics de Pb antiques observés dans les sédiments lacustres et fluviaux témoignent de l'impact des activités minières dès l'Antiquité^{6,7,9}. En France, les études sur les trajectoires environnementales des anciennes mines revêtent une forte composante paléo-écologique ou archéologique^{6,9,15,16} ou se concentrent sur l'aspect écotoxicologique^{17,18,19}. Quelques études se sont penchées sur l'évaluation des contaminations en ETM dans les sols et les eaux^{20,21,22,23}. Toutefois, **peu d'études croisent les données de plusieurs proxies afin de déterminer les processus de dispersion et de transfert des ETM entre les composantes biotiques et abiotiques d'un même écosystème.**

Les communautés microbiennes constituent la biomasse dominante des sols et des sédiments²⁴ et supportent des fonctions essentielles des cycles biogéochimiques²⁵. Elles sont capables de répondre rapidement aux changements environnementaux et de s'y adapter et sont susceptibles d'interagir précocement avec les ETM. Ces communautés permettent de considérer les biodiversités spécifiques et fonctionnelles dans des approches considérant des facteurs de forçage définis *a priori*, afin d'évaluer l'impact des contaminants sur l'intégrité fonctionnelle des écosystèmes^{24,25,26}.

Dans les Alpes, des centaines de mines abandonnées sont dispersées sur le territoire et constituent de possibles sources de contaminants^{27,28}. La concession de plomb-argentifère de Peisey-Nancroix (massif de la Vanoise, Savoie), le district Pb-Ag de Brandes (Isère) et le district Fe-Cu de Saint-Georges d'Hurtières (Savoie), couplés respectivement au lac du Verney, au lac Noir des Grandes Rousses et au lac Noir (Lauzière) représentent des sites ateliers d'intérêt pour répondre aux objectifs de ce projet de thèse, à savoir : (1) réaliser une cartographie des anomalies géochimiques dans les différents proxies, afin d'intégrer ces données dans une cartographie statistique (en cours de réalisation) à l'échelle des Alpes du Nord, (ii) identifier des phases minérales porteuses des ETM dans différents proxies et identifier les processus de transfert et de dispersion des ETM dans un environnement de montagne possédant des caractéristiques topographique, hydrologique et climatique propres et (iii) caractériser de l'effet des ETM sur le fonctionnement des communautés microbiennes présentes dans les différents proxies. La première partie de la thèse sera consacrée à l'étude du site atelier de Peisey-Nancroix, qui sera ensuite soumise à une étude comparative avec les districts de Brandes et de Saint-Georges d'Hurtières. En effet, pour le site de Peisey-Nancroix (i) toutes les étapes du cycle minier, de l'exploitation au traitement du minerai, se trouvent sur une zone limitée géographiquement, (ii) le site est demeuré en l'état depuis l'arrêt de l'exploitation en 1866, (iii) plusieurs torrents longent les zones d'extraction et de traitement du minerai et remobilisent les ETM, (iv) 2 sorties d'exhaures peuvent être instrumentées, (v) le site est accessible toute l'année bien que situé à 1550 m d'altitude, et (vi) des données sur les sédiments de rivières (BRGM) et sur les sols sont en cours d'acquisition (analyses XRF portable) dans le cadre d'un projet EC2CO démarré en 2017. Les sédiments du lac du Verney ont par ailleurs déjà été carottés, datés et caractérisés quant à leur teneur en Pb, de l'ordre de 30 ppm depuis un pic antique de 65 ppm (EDYTEM, comm. pers.).

Afin de répondre aux objectifs présentés ci-dessus, la réalisation du projet s'appuiera sur des compétences interdisciplinaires et sur des collaborations prévues avec des chercheurs du LECA, de l'IGE et d'IRSTEA-Villeurbanne. Les eaux d'exhaures et les écoulements superficiels seront suivis (pH, température, conductivité) afin d'obtenir des chroniques temporelles annuelles (5 suivis), et de déterminer l'influence de la saisonnalité sur les teneurs en ETM des eaux de drainage. Un traçage des eaux superficielles est également envisagé pour déterminer leurs relations avec les eaux de drainage. La cartographie géochimique des horizons les plus superficiels des sols sera réalisée à l'aide d'un XRF portable, afin de mettre en évidence l'échelle des dispersions des ETM sur le site minier. Des échantillons seront prélevés dans ces horizons (0-20 cm) pour quantifier les ETM, caractériser leur spéciation et établir une cartographie statistique. Des profils verticaux seront ensuite réalisés dans des zones sélectionnées, dans lesquels les différents horizons seront échantillonnés afin d'étudier les processus de redistribution des ETM dans les sols. Une étude minéralogique et pétrographique détaillée du minerai, des scories, des sols et des sédiments sera réalisée afin de déterminer (i) les phases minérales porteuses des ETM dans les différents proxies (analyses DRX), (ii) la spéciation des ETM, et (iii) les conditions de remobilisation des ETM (essais de lixiviation). Les communautés microbiennes seront

caractérisées par différents descripteurs d'effets tels que les potentiels (i) enzymatiques (β -glucosidase, phosphatase et leucine aminopeptidase), (ii) fonctionnels de respiration, nitrification/dénitrification et méthanotrophie/méthanogénèse (production gazeuse par μ GC), (iii) génétiques assurant les processus fonctionnels (abondance des gènes fonctionnels - y compris de résistance aux métaux lourds - par PCR quantitative en temps réel). La structure des communautés totales et fonctionnelles sera appréhendée par des approches de génotypage (empreinte moléculaire) ciblant des marqueurs phylogénétiques et les gènes de fonction, afin d'aborder le lien diversité-fonction dans les communautés étudiées. Les mesures biologiques seront confrontées aux teneurs en métaux mesurées au cours du suivi (variabilité spatiale et temporelle).

Ce projet s'inscrit à l'interface des deux axes thématiques du CARRTEL, en visant à caractériser comment des flux associés aux activités humaines à l'échelle d'un bassin-versant affectent le fonctionnement de l'écosystème lacustre (MELAC) et en visant à comprendre l'impact de forçage identifié *a priori* sur des communautés lacustres (BACC). La collaboration privilégiée avec EDYTEM permettra d'intégrer des compétences en minéralogie, géochimie et sédimentologie. Le caractère innovant, mais aussi la prise de risque de ce projet, réside dans l'objectif d'établir le lien entre le sédiment, le sol et les communautés bactériennes, afin de mieux appréhender le cycle biogéochimique des ETM, et notamment du Pb dans un écosystème de montagne affecté par des exploitations minières. Il n'existe à ce jour aucune étude intégrée de sites miniers situés en altitude, notamment dans les Alpes, où plusieurs centaines de mines abandonnées sont disséminées sur l'ensemble du territoire. Il est donc nécessaire de déterminer le rôle de la topographie, du régime hydrologique et climatique, ainsi que du contexte géologique dans les processus de dispersion des ETM en milieu de montagne, afin d'évaluer l'état des contaminations dans ces territoires miniers et les conséquences fonctionnelles pour les écosystèmes impactés.

6. CANDIDAT RECHERCHE : *Détailler en quelques lignes vos besoins et les qualités du candidat recherché...*

L'étudiant-e aura des compétences solides et une expérience en écologie microbienne, en analyse de données et une expérience de travail en laboratoire, en particulier pour des approches expérimentales. Il-elle devra maîtriser l'anglais et faire preuve de qualités rédactionnelles. Un intérêt pour les approches environnementales d'écologie et pour l'interdisciplinarité qu'elles impliquent (notamment vers la géochimie) sera un plus. Les encadrant-e-s, EDYTEM et le CARRTEL mettront à disposition de l'étudiant-e leurs compétences en géochimie, écologie microbienne, minéralogie.

7. FINANCEMENT DE LA THESE : *Le contrat doctoral fixe une rémunération minimale, indexée sur l'évolution des rémunérations de la fonction publique : depuis le 1er février 2017, elle s'élève à **1768,55 euros bruts mensuels** pour une activité de recherche seule. Un avenant attributif d'une mission complémentaire d'enseignement est possible pour une durée de 2 ans. Sous réserve de la publication de l'arrêté fixant le taux de rémunération des heures complémentaires, la rémunération mensuelle sera de 220, 80 euros bruts pour 64 heures ETD par année universitaire.*

Autres sources de financement en appui à la thèse :

- **obtenu** : projet EC2CO TRACES (21 k€ obtenu pour 2017, 19 k€ demandé pour 2018), fiche action ONEMA (100 k€ obtenu sur 2017-2018)

- **demandé** : dépôt projet REMIT 'Ressources minérales et territoires' (AAPG ANR 2017, lettre d'intention retenue) 640k€ demandé sur 2018-2021 (porteur Univ. Lorraine, collaboration EDYTEM). Ce projet assurera notamment le financement du volet 'dispersion et de transfert des ETM entre les différents compartiments d'un même écosystème' qui vise à évaluer des contaminations environnementales par une approche source-puits basée sur une étude multi-proxies (sol, eau, sédiments) et multi-échelles (site, vallée). En cas de non financement du projet REMIT, différents appels d'offres régionaux et nationaux pourront être sollicités : AAP USMB, FCS Rovaltain, AO Région AURA...

8. CONTACT :

Nom prénom : Lyautey Emilie / Magali Rossi

Tél : 04 79 75 88 61 / 94 28

Email : Emilie.Lyautey@univ-smb.fr / Magali.Rossi@univ-smb.fr

Littérature citée :

- [1] Ragnardsottir K.V. (2000) *J. Geol. Soc.* **157**, 859-876 ; [2] Horowitz A.J. et al. (2001) *Hydrol. Process.* **15**, 1107-1132 ; [3] Luoma S.N. & Rainbow P.S. (2008) *Metal contamination in aquatic environment*. Science and lateral management, Cambridge ; [4] Rigaud S. (2011) *Dynamique et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sédiments de l'étang de Berre*. Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, Aix-Marseille ; [5] Loring D.H. (1990) *Mar. Chem.* **29**, 155-168 ; [6] Arnaud F. et al. (2005) *C. R. Geoscience* **338**, 244-252 ; [7] Schettler G. & Romer R.L. (2006) *Appl. Geochem.* **21**, 58-82 ; [8] Elbaz-Poulichet F. et al. (2011) *Environ. Sci. Technol.* **45**, 8642-8647 ; [9] Garçon M. et al. (2012) *Appl. Geochem.* **27**, 760-773 ; [10] Burga-Pérez K. (2012) *Développement et validation de microbiotests en phase solide pour l'évaluation écotoxicologique des sédiments*. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine ; [11] Baize D. (1997). *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)*, Collection "Un point sur...", Paris, INRA, 409p ; [12] Dudka S. & Adriano D.-C. (1997) *J. Environ. Qual.* **26**, 590-602 ; [13] El Amari K. et al. (2014) *J. Afr. Earth Sci.* **100**, 437-449 ; [14] Aebischer S. et al. (2015) *Chem. Geol.* **412**, 167-178 ; [15] Baron S. et al. (2006) *Environ. Sci. Technol.*, **40**, 5319-5326 ; [16] Py V. et al. (2014) *Quatern. Int.* **353**, 74-97 ; [17] Casiot C. et al. (2009) *Appl. Geochem.* **24**, 787-799 ; [18] Camizuli E. et al. (2014a) *Environ. Res.* **134**, 410-419 ; [19] Mariet A.-L. et al. (2016) *Holocene* **26**, 1-12 ; [20] Casiot C. et al. (2007) *Appl. Geochem.* **22**, 788-798 ; [21] Camizuli E. et al. (2014b) *Sci. Total Environ.* **472**, 425-436 ; [22] Resongles E. et al. (2015a) *J. Geochemical Explor.* **158**, 132-142 ; [23] Resongles E. et al. (2015b) *Talanta* **144**, 851-861 ; [24] Gibbons S.-M. et al. (2014). *PLoS ONE* **9**:e97435. doi: 10.1371/journal.pone.0097435 ; [25] Bertrand J.C. et al. (2011). *Ecologie microbienne : Microbiologie des milieux naturels et anthropisés*. PUP, Pau ; [25] Faupel M. et al. (2012). *Environ. Pollut.* **162**, 104-109 ; [26] Clements W.-H. & Rohr JR. (2009). *Environ. Toxicol. Chem.* **28**, 1789-1800 ; [27] Durand R. (2010) *Un siècle dans les mines de Savoie*. Challes-les-Eaux (FR): Ed. Gap, 283p ; [28] Gasquet D. & Rossi M. (2015). *Proc. 13th SGA meeting* **4**, 1523-1526.