

## **Proposition de Sujet de Thèse pour Contrat Doctoral UCA**

Adresse e-mail à utiliser pour toute correspondance :

christophe.renac@unice.fr

### **Titre de la thèse**

Etude de la contamination métallique dans deux hydrosystèmes (mexicains et néo-calédonien) impactés par des activités minières : état écologique, réactivité et transport des contaminants

### **Thesis Title**

Study of metallic contamination in two hydrosystems (Mexican and New Caledonian) impacted by mining activities: ecological state, reactivity and transport of contaminants.

### **Directeur de Thèse (HDR ou assimilé)**

Nom : renac

Prénom : Christophe

Téléphone : 04 83 61 85 61

Courriel : christophe.renac@unice.fr

### **Laboratoire d'accueil**

GEOAZUR

### **Co-directeur**

Nom : Barats

Prénom : Aurélie

HDR : Non

Unité de recherche : Geoazur

Téléphone : 04 83 61 85 61

Courriel : aurelie.barats@unice.fr

### **Domaine Scientifique**

DS3 - Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace

## Description du sujet

### Identification du sujet et état des connaissances

Dans certaines zones géographiques, les contaminants dans l'eau atteignent des niveaux de concentrations bien au-delà des normes de qualité environnementale définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cependant, ces normes restent des indicateurs globaux qui ne tiennent pas compte des caractéristiques spécifiques à une zone d'étude (bruit de fond géochimique). Dans le cadre de cette thèse, la contamination des rivières sera étudiée sur deux sites pilotes : (i) dans le bassin versant de la rivière Yaqui (Mexique) et (ii) dans des bassins versants naturels ou anthropisés en Nouvelle Calédonie. Ces deux hydrosystèmes ont été choisis car : (1) ils sont impactés par des activités minières, et révèlent déjà des niveaux de contamination élevés, et (2) ils sont particulièrement vulnérables sur le plan climatique (fréquentes sécheresses dans le bassin de la rivière Yaqui; sévères tempêtes en Nouvelle-Calédonie). Bien que certains polluants aient déjà été mesurés ponctuellement dans ces bassins, ce projet propose une approche plus globale en collaboration avec différents acteurs internationaux (institutionnels, scientifiques et opérationnels) de différentes disciplines scientifiques (chimie, biologie, géologie et hydrologie).

Une forte pression anthropique combinée à des changements climatiques pourraient détériorer la qualité des espaces naturels environnants et aggraver la qualité des ressources en eau. Les contaminations de ces deux zones sont associées à des origines naturelles liées aux formations géologiques riches en métaux et métalloïdes, et à des activités anthropiques minières (Mexique : cuivre, molybdène et or ; Nouvelle Calédonie : nickel et chrome). Même si ces deux zones d'étude sont situées dans des systèmes environnementaux complexes où se trouvent potentiellement d'autres types de contamination (pesticides, hydrocarbures, etc. liées à des activités agricoles, aquacoles, urbaines), ce projet de thèse se focalisera uniquement sur la contamination inorganique de ces deux hydrosystèmes.

### Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de déterminer les quantités et stocks de polluants présents dans les hydrosystèmes et leurs dispersions/transports via les rivières. In fine, ce projet permettra d'améliorer la gestion des ressources en eaux en réduisant significativement les risques naturels et anthropiques, et en prenant compte des croissances démographiques et des changements climatiques.

Le premier objectif de ce projet est de faire un état des lieux des polluants présents dans les deux hydrosystèmes pour différentes périodes hydrologiques. Pour cela, les teneurs totales des contaminants inorganiques (métaux et métalloïdes) seront déterminées dans les eaux. Afin de prédire l'impact environnemental d'un contaminant, il faut déterminer sa mobilité, sa réactivité, ou sa toxicité. Pour cela, connaître sa teneur totale n'est pas suffisant. Ce projet de thèse s'attachera donc à déterminer dans l'eau à la fois la forme physique du polluant (distinction entre la phase particulaire, colloïdale et dissoute), mais aussi la forme chimique dans la phase dissoute, c'est-à-dire la spéciation. Des mesures chimiques et minéralogiques seront aussi réalisées dans les sédiments ou sols provenant des hydrosystèmes sélectionnés car ils sont une source de pollution importante, notamment lors de crues (remise en suspension de particules potentiellement contaminées). Les résultats des mesures environnementales permettront de déterminer la source et la nature de la contamination, et ainsi de mettre en évidence les zones géographiques les plus contaminées et celles présentant un risque important d'exposition

pour les populations.

Le deuxième objectif de cette thèse sera d'évaluer la dispersion des contaminants dans les hydrosystèmes et leur transport jusqu'à l'embouchure avec la mer, dans l'océan Pacifique. Un modèle hydrogéochimique sera construit afin de prédire le transport des contaminants via la rivière en tenant compte de la variabilité hydrologique saisonnière, de la réactivité chimique de chaque contaminant et de l'impact potentiel de changements climatiques futurs.

#### Tâche 1. Evaluation de l'état de contamination des hydrosystèmes

Un état des lieux de la bibliographie existante sur la partie Mexicaine (Yaqui) a déjà été effectué, notamment dans le cadre de la thèse de Beatriz González (IMTA-UAEMex). Des informations générales des informations et une méthodologie ont été obtenues sur l'hydrologie, la géologie, l'occupation des terres, la végétation, les substances utilisées pour les activités économiques. Pour les études préliminaires, les instances privées et gouvernementales ont collaboré de manière très étroite comme l'association du district d'irrigation du fleuve Yaqui (OOMAPAS). Sur le site calédonien, un état des lieux bibliographiques et de collections des données existantes a déjà été prévu dans le cadre du projet QUAVAR (début 2019, financé par le CNRT). Le (ou la) doctorant(e) participera activement à cette tâche avec l'aide de l'équipe de l'Université de Nouvelle Calédonie. Pour les deux zones géographiques, le projet propose de réaliser plusieurs échantillonnages durant différentes périodes hydrologiques. Au Mexique, 3 échantillonnages ont déjà été réalisés dans la partie aval de l'hydrosystème. En Nouvelle Calédonie, il est prévu d'en réaliser au moins 4 échantillonnages ponctuels (2 par an à des périodes hydrologiques contrastées) sur 6 sites (pas et fortement influencés par les mines), et un suivi annuel sur un site pilote (projet QUAVAR). Des échantillons d'eau (brutes, phases particulières, colloïdales et dissoutes), de sédiments et de sols seront prélevés à chaque site pour analyser leurs compositions chimiques. Pour les sédiments/sols, les différentes fractions granulométriques et minéralogiques seront étudiées afin de déterminer quelles sont celles responsables de la contamination et si des échanges de ces phases vers l'eau pourraient avoir lieu (extractions séquentielles, analyse chimique spécifique de la phase sédimentaire d'intérêt...). Les analyses suivantes seront effectuées :

- pour les analyses chimiques dans l'eau : les ions majeurs par chromatographie ionique, des métaux et métalloïdes par spectrométrie de masse (ICPMS), pour la spéciation de certains métaux et métalloïdes par des méthodes électrochimiques et HPLC-ICPMS ;
- pour les analyses minéralogiques et chimiques des sols/sédiments : diffraction des rayons X, microscopie électronique, spectrophotométrie d'absorption atomique pour les éléments majeurs ou spectrométrie de masse pour les éléments traces après minéralisation acide assistée par microondes.

#### Activités de l'axe n ° 1

- Activité 1. Compilation et analyse des travaux effectués et rapportés dans les deux bassins
- Activité 2. Surveillance et échantillonnage de points sélectionnés où la pollution est évidente
- Activité 3. Analyse chimique des échantillons : métalloïdes et métaux
- Activité 4. Élaboration d'une base de données avec les résultats physiques et chimiques obtenus sur le terrain et en laboratoire. Construire d'une carte de pollution.

#### Tâche 2. Transport de la contamination dans le bassin versant de la rivière vers l'Océan pacifique

Dans les rivières, les polluants sont transportés sur des distances considérables. Cette deuxième partie propose d'estimer la dispersion de la pollution via la rivière, i.e. le flux annuel de polluants qui atteignent l'océan Pacifique, pour 2 bassins versants sélectionnées (celui du Yaqui pour le Mexique et un autre à déterminer en Nouvelle Calédonie), en tenant compte de la réactivité de chaque polluant (ce qui est rarement fait). L'efficacité du transport d'un polluant dépend directement de sa forme physique et chimique. Certains contaminants s'accumulent dans les sédiments et les particules en suspension dans l'eau, tandis que d'autres sont de préférence sous forme dissoute (plus mobile) dans l'eau. Il faudra également prendre en compte le transfert éventuel de polluants entre les phases solides (particules et sédiments) vers la phase dissoute dans l'eau. Ces processus peuvent induire une augmentation significative de la contamination.

La première étape de la construction d'un modèle de transport consistera à obtenir des données historiques sur les flux climatologiques et fluviaux. Les mesures de turbidité devraient être incluses, car elles soulignent la contribution des particules en suspension dans la rivière (potentiellement riches en polluants). Le premier modèle hydrodynamique utilisera les informations fournies par les stations météorologiques, les systèmes d'irrigation et de gestion des acteurs de l'eau. Dans une première étape, un modèle de transport de l'eau et des particules sera construit sur plusieurs tronçons kilométriques. Les données chimiques obtenues dans l'axe 1 seront ensuite ajoutées à ces modèles hydrodynamiques pour donner des modèles «hydrochimiques». Enfin, pour tenir compte de la réactivité des polluants (transfert solide/liquide), des modèles géochimiques sur la base de la thermodynamique (Workbench (GWB) de géochimiste, et CHESS PHREEQC PHAST) seront utilisés et leurs résultats seront intégrés dans notre modèle. Ce projet proposera ainsi un modèle de transport «hydrogéochimique», qui sera validé par des mesures sur le terrain. Ce modèle évaluera le transport et la diffusion des polluants en compte tenant de la réactivité des contaminants.

Les changements climatiques peuvent avoir un impact significatif sur le transport fluvial ; notamment par la diminution des précipitations (Mexique) ou leur augmentation brutale (Mexique, Nouvelle Calédonie). Ce modèle devra donc tenir compte des changements hydro-climatiques et de quantifier l'impact potentiel de changements climatiques futurs sur l'hydrologie de la rivière et sur le transport des contaminants.

Activités de l'axe n ° 2

- Activité 1. Collecte d'informations : données hydrologiques, récupération des séries temporelles.

- Activité 2. Description de l'hydrologie des rivières et des tendances climatiques.

Utilisation d'un système d'information géographique (SIG) afin de visualiser et d'interpréter les données (les relations, les modes et les tendances). Construction d'un modèle hydrologique.

- Activité 3. Elaboration d'un modèle « hydrogéochimique » de transport de polluant, en prenant compte des des résultats géochimiques de la tâche 1. Si nécessaire, les modèles seront affinés avec les nouvelles mesures.

- Activité 4. Intégration dans le modèle des dernières projections climatiques du GIEC grâce à plusieurs méthodes statistiques. Modélisation des impacts de ces changements climatiques projetés sur l'hydrologie et le transport de contaminants. Construction du modèle de transport global.

## **Description of the thesis**

In some regions, contaminants in water reach levels of concentrations well above the

environmental quality standards set by the World Health Organization (WHO). However, these standards remain global indicators that do not take into account local characteristics (geochemical background noise). In this thesis, river contamination will be studied at two pilot sites: (i) in the Yaqui River watershed (Mexico) and (ii) in natural or anthropogenic watersheds in New Caledonia. These hydrosystems were chosen because they represent: (1) impacted by mining activities, and (2) particularly climatically vulnerable. The contaminations of these two zones are associated with natural origins related to geological formations rich in metals and metalloids, and to anthropogenic mining activities (Mexico: copper, molybdenum and gold, New Caledonia: nickel and chromium). Even if these two study areas are located in complex environmental systems where there are potentially other types of contamination (pesticides, hydrocarbons, ... related to agriculture, urban activities...), this thesis project will focus solely on the inorganic contamination of these two hydrosystems. The first objective of this thesis is to perform an assessment of the contamination in the two hydrosystems for different hydrological periods. For that, the total contents of the inorganic contaminants in the waters (metals and metalloids), their physical form (particulate, colloidal and dissolved phase), and their chemical form in the dissolved phase (i.e. their speciation) will be determined to predict further the environmental impact of a contaminant (its mobility, reactivity, or toxicity). Chemical and mineralogical measurements will also be carried out in sediments or soils from the selected hydrosystems because they are a source of significant pollution, especially during floods (resuspension of potentially contaminated particles). The results of this environmental survey will allow the source and the nature of the contamination to be determined, and thus the most contaminated geographical zones and those presenting a significant risk of exposure for the populations to be highlighted. The second objective of this thesis will be to assess the dispersion of contaminants in hydrosystems and their transport to the mouth of the sea in the Pacific Ocean. A hydrogeochemical model will be constructed to predict contaminant transport via the river taking into account seasonal hydrological variability, the chemical reactivity of each contaminant, and the potential impact of future climate change.

### **Informations complémentaires**

Collaborations internes (Equipes / Pôles impliqués) :

Laboratoire Géoazur, équipe risques : hydrogéologie (Christophe Renac), chimie (Aurélie Barats) et hydrologie (Pierre Brigode)

Soutien technique : Jean-Pierre Goudour (IE)

Potentielle interaction avec l'équipe Géomatériaux (Sylvain Gallet, Magalie Bonnefoy ou Tech. à venir)

Collaborations externes :

• Contortium pour le projet calédonien (QUAVAR, financement CNRT obtenu Dec 2018):

- Université de Nouvelle Calédonie-ISEA (Institut des Sciences Exactes et Appliquées):

Peggy GUNKEL-GRILLON, Christine LAPORTE-MAGONI

- Université de Bordeaux-EPOC: Magalie BAUDRIMONT

- Bureau d'étude BIOEKO, Nouvelle Calédonie : Yannick DOMINIQUE

- CSIRO (Australie) : Jenny STAUBER

• Contortium pour le projet mexicain (ContaminYaqui, financement UCA et CONACYT obtenu):

- UCA-Laboratoire INPHYNI : Bernard DUSSARDIER, Charlotte HUREL

- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua): Sofia E. GARRIDO-HOYOS, Ariosto AGUILAR CHAVEZ, Beatriz GONZALES (doctorante UAEMex-IMTA)

- 
- UAEM (Universidad Autonoma des Estado de Mexica): María Vincenta ESTELLER, Carlos DIAZ-DELGADO
  - CIAD (Centro de Investigacion en Alimentacion y Dessarollo): Jara Marini MARTIN
  - UNAM (Universidad Autonoma de Mexico): Amabel ORTEGA
  - UNISON (Universidad de Sonora): Reina CASTRO-LONGORIA

**Support financier:**

Une partie des transports et budgets analytiques sont déjà acquis par le programme QUAVAR (2019-2021 : 203 k€) dont 50 k€ sont fléchés sur les thématiques précédemment présentées

Une partie des transports et budgets analytiques sont déjà acquis par le programme mexicain CONACYT et financement UCA-académie 3. Un projet PICS-CNRS validé en Fév 2019 permettra la partie déplacement et séjour sur le Mexique.