

CONTRAINDRE LA(LES) SOURCE(S) NATURELLES ET ANTHROPIQUES DES CONTAMINANTS MÉTALLIQUES LE LONG DU BASSIN VERSANT DE LA MANA (GUYANE FRANÇAISE)

CONSTRAINING THE NATURAL AND ANTHROPOGENIC SOURCE(S) OF METAL CONTAMINANTS ALONG THE MANA WATERSHED (FRENCH GUIANA)

Etablissement **Université Grenoble Alpes**

École doctorale **Sciences Mécaniques et Energétiques, Matériaux et Géosciences**

Spécialité **Sciences de la Terre et de l'Environnement**

Unité de recherche **Institut des Sciences de la Terre**

Encadrement de la thèse **Cécile GAUTHERON (detailResp.pl?resp=39678)**

Co-Directeur **François-Michel LE TOURNEAU (detailResp.pl?resp=95412)**

Financement *origine* **Ecole doctoral** *Employeur* **Université Grenoble Alpes**

Début de la thèse le **1 octobre 2023**

Date limite de candidature (à 23h59) **9 mai 2023**

Mots clés - Keywords

Contaminant, surface continentale, laterite, sediment, erosion, alteration

contaminant, surface continental, laterite, sediment

Description de la problématique de recherche - Project description

Le territoire de la Guyane française (GF) est riche en géoressources avec notamment une diversité de roches transamazoniennes qui contiennent des concentrations importantes en métaux dont l'or est la principale exploitée. Ces roches primaires sont fortement altérées depuis le Cénozoïque sous l'effet de conditions tropicales marquées par des oscillations climatiques fortes, formant des couvertures latéritiques épaisses distribuées sur l'ensemble du territoire. Ces couvertures latéritiques ont accumulé des minéraux d'intérêt économique (Au, REE, Ni, ...) par précipitation de phases minérales supergènes héritées de l'altération des minéraux primaires. Cependant, ils contiennent également des niveaux élevés de métaux traces et métalloïdes (MT) accumulés naturellement sur le long-terme (i.e. géogéniques) et potentiellement toxiques (par exemple, Hg, Pb, Cd). Leur préservation dans les couvertures latéritiques est, cependant, fortement perturbée par les activités anthropogéniques (e.g. exploitation aurifère légale et illégale depuis 150 ans, agriculture, urbanisation et, plus généralement, déforestation) mais aussi par le forçage climatique (i.e. événements extrêmes tels que les inondations et les glissements de terrain, ou à plus long terme les fluctuations climatiques glaciaire-interglaciaire). Ainsi, le remaniement et l'érosion des couvertures latéritiques favorisent le transfert des particules de MT dans les ruisseaux et rivières vers les zones avales et côtières plus urbanisées. La quantification des processus responsables du transfert des métaux traces et métalloïdes polymétalliques et de l'impact social qui en résulte pour la population de Guyane sont donc essentiels. En effet, en Guyane française, l'exposition aux métaux traces et métalloïdes de la population vivant le long des fleuves et dans les zones côtières a été identifiée comme une préoccupation importante par les organismes de santé publique. Plus précisément, la contamination par le Pb est responsable de l'intoxication d'environ 30% des enfants amérindiens et le Hg fait l'objet d'une restriction de la consommation de poisson afin de réduire son assimilation, sous forme de monométhylmercure, par les populations locales. Avec l'augmentation des activités d'orpaillage principalement illégales, connues pour être la première source de contamination des écosystèmes de GF par les MT, cette question sociétale et sanitaire est devenue une priorité pour les autorités locales et nationales.

Bien que l'impact récent des activités anthropiques sur les transferts de métaux traces et métalloïdes, et la contamination aux MT de la population, soient fortement étudiés en Guyane française, le bruit de fond géochimique de ces éléments et l'apport historique de Hg et Pb restent au contraire peu contraints. Le travail de thèse fera partie d'un projet plus large dédié à l'étude des processus contrôlant les dynamiques environnementales et les impacts sociétaux des contaminants géogéniques et anthropiques à base de métaux traces en Guyane française (projet ECLAT soumis à l'ANR). Il se concentrera sur le bassin versant du fleuve Mana (Guyane française occidentale). Caractérisé par des eaux riches en matière organique avec une teneur élevée en matières particulaires en suspension contenant des oxydes de fer, l'exploitation de l'or y débute dès la fin du XIXe siècle, soit directement sur son cours (Délices, Patience, Dagobert, Certitude), soit par l'exploitation de certains de ces principaux affluents, comme la crique Lézard. Elle a aussi connu des

phases d'exploitation semi-industrielle légale, sur la crique Lézard (Paul Isnard) et sur la Haute Mana (Sophie), la société des mines de Sophie ayant été l'une des grandes entreprises minières des années 1960 en Guyane. Certaines de ces exploitations sont encore actives (site de Saint Léon), d'autres ont fermé récemment (Dagobert), mais ne sont plus émettrices de mercure interdit dans la filière minière légale depuis 2006, au contraire de l'orpaillage illégal encore très présent sur tous les sites historiquement exploités. L'identification de la provenance des sédiments et des vitesses de remaniement/transfert sédimentaire est d'une importance majeure pour quantifier le transfert des particules et des MT associées, de l'amont vers l'aval du bassin versant, et en fonction de la topographie locale, et des conditions météorologiques/des fluctuations climatiques (saison, année, décennie).

The territory of French Guiana (FG) is rich in georesources with notably a diversity of trans-Amazonian rocks that contain important concentrations of metals of which gold is the main one exploited. These primary rocks have been strongly altered since the Cenozoic under tropical conditions marked by strong climatic oscillations, forming thick lateritic covers distributed over the whole territory. These lateritic covers have accumulated minerals of economic interest (Au, REE, Ni, ...) by precipitation of supergene mineral phases inherited from the alteration of primary minerals. However, they also contain high levels of naturally accumulated (i.e. geogenic) and potentially toxic (e.g. Hg, Pb, Cd) trace metals and metalloids (TMs). Their preservation in lateritic covers is, however, strongly disturbed by anthropogenic activities (e.g. legal and illegal gold mining for the last 150 years, agriculture, urbanization and, more generally, deforestation) but also by climatic forcing (i.e. extreme events such as floods and landslides, or in the longer term glacial-interglacial climate fluctuations). Thus, reworking and erosion of lateritic covers promote the transfer of TM particles in streams and rivers to the more urbanized downstream and coastal areas. Quantifying the processes responsible for the transfer of trace metals and polymetallic metalloids and the resulting social impact on the population of French Guiana are therefore essential. Indeed, in French Guiana, the exposure to trace metals and metalloids of the population living along rivers and in coastal areas has been identified as a major concern by public health agencies. More specifically, Pb contamination is responsible for the intoxication of approximately 30% of Amerindian children and Hg is subject to a restriction in fish consumption in order to reduce its assimilation, in the form of monomethylmercury, by local populations. With the increase of mainly illegal gold mining activities, known to be the primary source of TM contamination of FG ecosystems, this societal and health issue has become a priority for local and national authorities.

Although the recent impact of anthropogenic activities on the transfer of trace metals and metalloids, and the TM contamination of the population, are strongly studied in French Guiana, the geochemical background of these elements and the historical contribution of Hg and Pb remain poorly constrained. The thesis work will be part of a larger project dedicated to the study of the processes controlling the environmental dynamics and societal impacts of geogenic and anthropogenic trace metal contaminants in French Guiana (ECLAT project submitted to the ANR). It will focus on the Mana River watershed (western French Guiana). Characterized by waters rich in organic matter with a high content of suspended particulate matter containing iron oxides, gold mining began there at the end of the 19th century, either directly on its course (Délices, Patience, Dagobert, Certitude), or through the exploitation of some of its main tributaries, such as the Lézard Creek. It has also known phases of legal semi-industrial exploitation, on Lézard Creek (Paul Isnard) and on the Upper Mana (Sophie), the Sophie mining company having been one of the major mining companies of the 1960s in French Guiana. Some of these operations are still active (Saint Léon site), others have recently closed (Dagobert), but no longer emit mercury that has been banned in the legal mining sector since 2006, unlike illegal gold panning, which is still very present on all historically exploited sites. Identifying the source of sediments and the rates of sediment reworking/transfer is of major importance to quantify the transfer of particles and associated TM from upstream to downstream of the watershed, and as a function of local topography and weather conditions/climate fluctuations (season, year, decade).

Thématique / Contexte

L'étudiant(e) réalisera dans un premier temps un travail de compilation des données historiques sur la zone d'étude, pour établir des index de contamination anthropique en Pb et Hg. Ce travail permettra d'établir des prédictions de contamination sur les derniers 150 ans. Dans un second temps, des échantillons de latérites, sol, eau, et particules en suspension seront collectés le long du fleuve Mana par l'étudiant(e). Son travail par des approches minéralogiques, géochimiques et géochronologiques dans la latérite et le sol permettra de quantifier des taux de transfert naturel de ces éléments MT et de caractériser les phases minérales associées aux transferts. Dans un second temps, des analyses géochimiques dans les sols, eau et sédiments permettront de documenter la dynamique de transfert des porteurs de MT le long des écosystèmes fluviaux, y compris la phase colloïdale, principalement organique, qui peut ne pas se déposer et donc rester dans la colonne d'eau. Finalement, le résultat de ces analyses sera comparé aux index réalisés en début de thèse pour caractériser les facteurs importants (anthropiques et naturels) qui permettent le transfert des contaminants, servant de références pour les organismes de santé publique.

Méthode

- Deux campagnes de terrain bien ciblées et sur des saisons différentes, seront sélectionnées et menées par le/la doctorant(e).
- Composition élémentaire des différents échantillons collectés ; minéralogie par DRX ; granulométrie, géochimie élémentaire, géochronologie (U-Th)/He sur oxydes et hydroxydes de fer, OSL, nucléides cosmogéniques.

- Cartographie numérique SIG des formations géologiques primaires et altérées, et des formations sédimentaires alluviales. Étude morphométrique de la topographie du bassin versant.

Résultats attendus - Expected results

- Obtention d'une cartographie des contaminants le long de la rivière Mana (Guyane française occidentale), des formations géologiques primaires et altérées (latérite) et de la distribution des sols.
- Approche source-to-sink du bassin de Mana, avec caractérisation des transferts de MT le long de la rivière et des affluents principaux.

Références bibliographiques

- BRGM, 1995, L'or en Guyane, Cayenne : BRGM.
- Le Tourneau, F.M., 2020. L'orpaillage clandestin en Guyane Française. Edition CNRS, Paris.
- Guédron, S., Grangeon, S., Lanson, B. and Grimaldi, M. (2009) Mercury speciation in a tropical soil association; Consequence of gold mining on Hg distribution in French Guiana. Geoderma 153, 331-346.
- Petot J., 1993, Histoire contemporaine de l'or en Guyane, Paris : l'Harmattan.
- Mestre M., Rostan P. (coords.), 2017, Projet minier de la Montagne d'or, étude d'impact archéologique. Bègles: INRAP.

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

- Réunions régulières avec les encadrants et séjour en Guyane
- Intégration de la thèse au projet ECLAT

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

- Financements en cours d'évaluation (ANR).
- Équipement analytique présent à ISTERre dans les plateformes Géochimie-Minéralogie et Géo-Thermo-Chronologie
- Collaboration active avec l'Univ. Guyane impliquée dans le projet de thèse, logistique disponible pour l'organisation et l'encadrement des missions de terrain.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

- Publications dans des revues internationales avec comité de lecture, présentations dans des conférences nationales et internationales.
- Présentation des résultats auprès des autorités/organismes publiques et populations guyanaises.

Collaborations envisagées

Collaboration avec l'Université de Guyane

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

- Le/la candidat(e) possédera des connaissances de base en sciences de la Terre et de l'Environnement (par ex. hydrologie, sciences du sol, minéralogie, ...).
- Travaux sur le terrain en Guyane Française et en laboratoire (minéralogie, géochimie, géochronologie).
- Intérêts pour approche multidisciplinaire.
- Connaissances en Systèmes d'Information Géographique.
- The candidate will have basic knowledge in Earth and Environmental sciences (e.g. hydrology, soil science, mineralogy, ...).
- Field work in French Guiana and laboratory work (mineralogy, geochemistry, geochronology).
- Interest for multidisciplinary approach.
- Knowledge in Geographic Information Systems.