

Poste : chercheur postdoctoral en géomicrobiologie, sédimentologie, diagenèse

Durée : 2 ans

Date limite de candidature : 13 décembre 2024

Prise de poste : 1^{er} trimestre 2025

Localisation : Bordeaux, France

Financement : Agence Nationale de la Recherche (ANR)

RÔLE DES SUBSTANCES EXOPOLYMÉRIQUES DANS LE CYCLE DES MÉTAUX ET LA DIAGENÈSE DES SÉDIMENTS ESTUARIENS – IMPLICATIONS POUR LES ESTUAIRES MODERNES ET FOSSILES

Contexte du projet

Les estuaires sont des environnements à forte productivité organique qui présentent des gradients physicochimiques marqués (ex. salinité, température). La transition de l'eau douce à l'eau salée y entraîne une augmentation de la disponibilité et de l'accumulation des métaux dans les sédiments. La combinaison des activités minières et industrielles, de l'urbanisation et des pratiques agricoles dans un contexte de changement climatique devrait entraîner un réchauffement et une eutrophisation des estuaires, une érosion accrue des bassins versants, et un déplacement vers l'amont de l'intrusion marine et une accumulation croissante des métaux polluants. **Les sédiments estuariens sont également riches en biofilms benthiques, biofilms qui sont et seront affectés par ces changements. Les estuaires constituent donc des laboratoires naturels pour étudier l'interaction entre les biofilms, les sédiments, l'eau et les métaux. Les biofilms estuariens produisent des substances exopolymériques (EPS), une matrice organique principalement produite par les diatomées à la surface des sédiments, et dégradée ou produite par certaines bactéries et archées en profondeur.** Cette matrice favorise l'attachement des micro-organismes aux sédiments, les protégeant de la dessiccation et des polluants. Les EPS sont principalement composées de polysaccharides et de protéines, mais aussi d'acides nucléiques, et comprennent des groupes fonctionnels réactifs, tels que les carboxyles ou les sulfates. Les micro-organismes produisent également des EPS pour réguler le flux de micronutriments (par exemple, le fer, le zinc, le cuivre) vers les cellules. **Les groupements réactifs permettent aux EPS de se fixer aux surfaces minérales (par exemple les argiles), modifiant ainsi les propriétés des sédiments. Les complexes argile-EPS ont un fort potentiel d'immobilisation des métaux lourds en offrant une grande variété de sites de complexation, mais sont également préservés dans le registre sédimentaire ancien dans des structures telles que les coatings détritiques des grains de sable.** On distingue deux fractions d'EPS : les EPS « bound », qui forment des gels condensés à proximité des cellules, et les EPS colloïdales, qui se présentent principalement sous une forme soluble interagissant avec l'eau et les sédiments. Dans les estuaires, les deux fractions d'EPS ont montré une capacité importante de piégeage des métaux et d'interactions avec les argiles. **Jusqu'à présent, aucune étude ne décrit les interactions EPS-métaux-argiles pendant la**

diagenèse précoce, ni sous l'effet de l'augmentation de pression et de température liée à l'enfouissement dans les bassins sédimentaires. Ces recherches pourraient être clé pour comprendre la façon dont les métaux sont incorporés aux sédiments, mais également comment les communautés microbiennes ont influencé ces processus au cours des temps géologiques via la production d'EPS.

Objectifs du projet postdoctoral

Ce postdoctorat s'inscrit à l'interface de la géologie, de la sédimentologie, de la microbiologie et de la géochimie dans le cadre du projet EXODIA (EXOpolymeric substances as catalyzers of DIAGenetic reactions : implications for metal accumulation in modern and ancient estuaries), financé par l'Agence Nationale de la Recherche pour les années 2024-2028. EXODIA propose d'explorer le rôle des substances exopolymériques dans l'incorporation des métaux au sédiment durant les processus diagénétiques (transformation des sédiments en roche), et d'explorer les biosignatures de ces processus dans des systèmes sédimentaires actuels et anciens.

Plus particulièrement, les objectifs du projet seront :

(i) de **caractériser les relations entre substances exopolymériques (EPS), activité et communauté microbienne, distribution des métaux et des minéraux dans les sédiments de deux estuaires en climats contrastés** : l'estuaire de la **Gironde** (Sud-Ouest de la France), et l'estuaire de la **Guadiana** (frontière du Portugal et de l'Espagne). Ces analyses seront faites sur **des carottes de sédiments (>5m de profondeur)** ;

(ii) de **cultiver des diatomées benthiques, qui sont les principales productrices d'EPS**, afin **d'extraire et de caractériser les EPS** dans différentes conditions (salinité, substrat sédimentaire, concentration en métaux). **On comparera ainsi les EPS produits en culture et ceux présents dans le sédiment** ;

(iii) d'analyser **les interactions entre les EPS et certains métaux présents dans les eaux estuariennes** afin de **comprendre le rôle des EPS sur la précipitation ou la dissolution de ces métaux durant la diagenèse des sédiments estuariens (transition sédiment-roche sédimentaire)** ;

(iv) **d'utiliser les EPS pour des expérience de diagenèse en conditions de pression et de températures contrôlées**, où un suivi **des transformations diagénétiques organiques et minérales** sera effectué.

Plus largement, **ces résultats serviront à comprendre comment les métaux sont incorporés aux sédiments pendant la diagenèse, et comment les interactions entre les sédiments et les communautés microbiennes estuariennes ont évolué au cours de temps géologiques**. Les résultats obtenus sur les estuaires modernes seront ainsi comparés à des formations sédimentaires anciennes. Ainsi, ce travail s'intégrera dans la Task 1 « Relations entre l'activité microbienne, les substances exopolymériques, les métaux et l'eau dans les estuaires modernes » et la Task 2 du projet « Culture, sélection et identification des microorganismes clés dans le cycle des EPS et des métaux » du projet EXODIA. Une interaction

forte sera attendue entre le/la chercheur.e et le/la doctorant(e) en charge des cultures en conditions oxygènes et anoxiques dans la Task 2 (laboratoires CBMN et ICMCB, Bordeaux).

Méthodologie et déroulé du postdoctorat

Les sédiments seront récupérés par **des carottages longs** (> 5 mètres de profondeur) **dans les zones intertidales et subtidales peu profondes des estuaires de la Gironde et de la Gaudiana** (Figure 1A-B-C). Les **sédiments seront ensuite analysés** par diverses méthodes (DRX, XRF, granulométrie laser). La **géochimie des eaux porales** sera analysée par ICP-OES, ICP-MS et électrochimie (microélectrodes ; Figure 1F). **L'activité microbienne** sera mesurée par divers assays colorimétriques et par microcalorimétrie. **Les différentes fractions EPS (colloïdaux et liés) seront extraites du sédiment et analysées** par assays colorimétriques (protéines, polysaccharides, acidité ; Figure 1D), titrations, et spectroscopies FTIR et Raman. **Des EPS seront produites dans des cultures de diatomées soumises à différentes conditions de croissance** (substrat sédimentaire, salinité ; Figure 1E). Leur composition sera comparée aux **EPS extraites des sédiments**, mais également à celles produites dans par **des cultures de bactéries ou d'archées** (produits par le doctorant de la Task 2 d'EXODIA). **L'affinité de ces EPS pour différents métaux** (Ca, Mg, Mn, Fe, Cd, Zn, Cu, etc.) **sera mesurée** par titration, électrochimie et calorimétrie. Enfin, **des sédiments de la Gironde seront également placés dans des réacteurs haute pression/haute température (HP/HT) en saphir** pendant plusieurs mois afin de **simuler des processus diagenétiques comparables à ceux rencontrés lors de l'enfouissement du sédiment dans un bassin sédimentaire**. Le dispositif expérimental intégrera des sondes de pH, de température et de pression, mais surtout des sondes biochimiques utilisant la spectroscopie UV-Vis et Raman (c'est-à-dire des mesures de gaz et de modifications d'EPS). **La minéralogie et les métaux seront caractérisés ex situ à des étapes clés de l'expérience**. Notamment, la **distribution des métaux dans les EPS** sera analysée par **XRF** (Figure 1G) et **spectroscopie aux Rayons X** au Synchrotron Soleil (Paris-Saclay), sous réserve d'acceptation de notre application pour du temps de beamline.

Le/la postdoctorant.e intégrera une équipe **pluridisciplinaire, sympathique et soudée**, et effectuera des **missions chez les partenaires nationaux** (IC2MP Poitiers, GEOPS, Paris-Saclay) **et internationaux** (University of Connecticut, USA, Université de Bâle, Suisse) afin **de se former sur différentes approches et techniques utilisées**. Il/elle présentera ses travaux dans des **congrès nationaux et internationaux**, mais sera également encouragé à **les présenter au grand public via divers événements et médias** (Fête de la Science, The Conversation, etc. Il/elle sera également **amené(e) à publier ses résultats dans des journaux scientifiques internationaux de haut niveau**.

Rémunération et conditions matérielles

Le financement du postdoc est prévu pour 24 mois, de 2025 à 2027, avec potentielle prolongation si les conditions le permettent. **Le salaire net mensuel sera d'environ 2200 à 2400 euros suivant l'expérience du chercheur**.

Le/la postdoctorant(e) fera partie des équipes **Géologie Sédimentaire** et **TGM** de l'**UMR EPOC** et sera hébergé dans le **bâtiment de l'Ensegid** (Pessac), où il/elle aura un bureau. Un ordinateur et un espace de stockage (disque dur, NAS) seront également mis à disposition du/la doctorant(e). Des formations aux conditions de sécurité en laboratoire et sur le terrain

seront assurées par les équipes de l'UMR EPOC. **Le travail de terrain sera réalisé en équipe et dans la bonne humeur.**

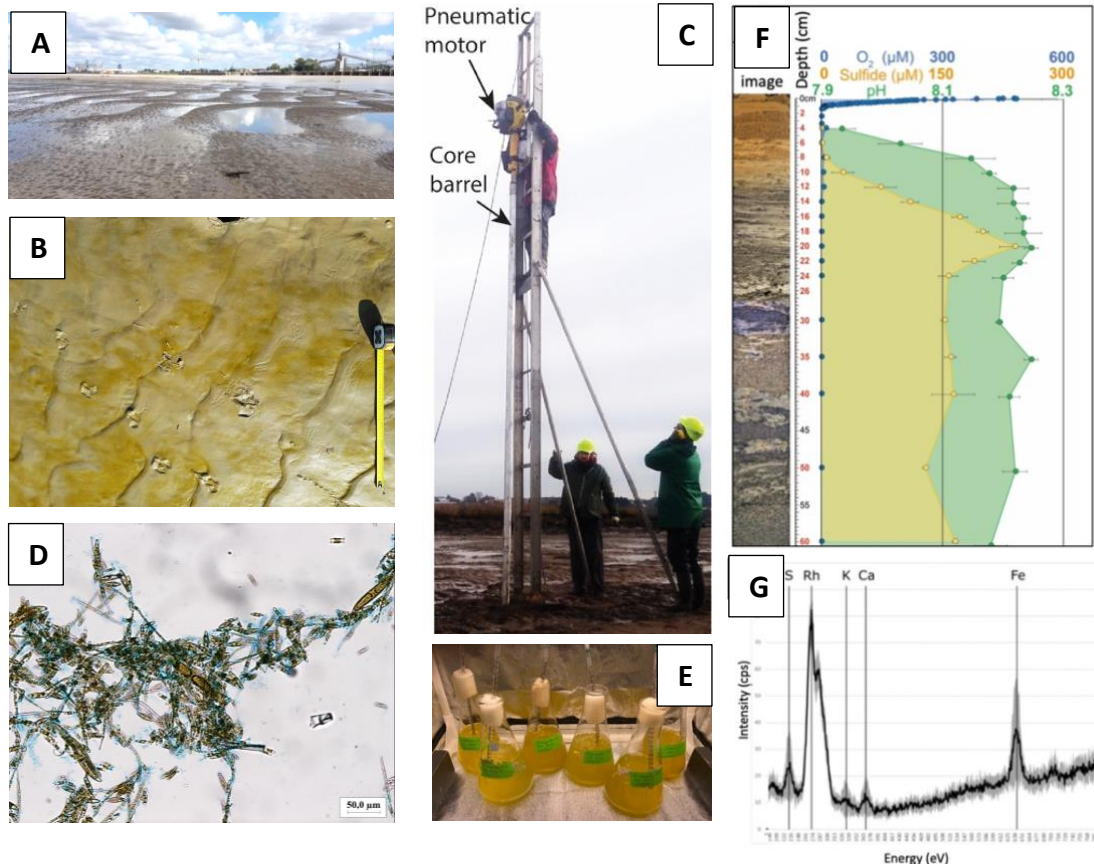


Figure 1. (A-B) Vue des sédiments étudiés à marée basse. Dunes tidales de haute énergie (A) et Rides de courant sur des boues de basse énergie (B). Les dépôts boueux sont colonisés par des biofilms à diatomées produisant un pigment doré. (C) Carottage sur une barre sableuse de marée dans l'estuaire de la Gironde. Cette approche sera utilisée dans les estuaires de la Gironde et de la Guadiana ; (D) Image microscopique d'un biofilm de diatomées provenant du sédiment de surface de la Gironde montrant des EPS acides (colorés au bleu alcian), donc réactifs vis-à-vis des métaux ; (E) Cultures de diatomées maintenues en laboratoire. Ces cultures serviront à produire des EPS pour des expériences de diagenèse ; (F) Profils de microélectrodes (bleu=O₂, jaune=HS⁻, vert=pH) mesurés dans une carotte de 60 cm de long provenant de la Gironde. Ces profils montrent des gradients redox dans les alternances boue-sable. Une interface redox apparaît à 12 cm. (G) Spectre XRF des EPS des biofilms à diatomées montrant la présence de métaux et de soufre fortement liés. Ca=Calcium ; Fe=Fer ; S=Soufre ; K=Potassium ; Rh=Rhodium (source de rayons X).

Profil des candidat.e.s

Titulaire d'un doctorat en **Géosciences, Sciences de la Terre, Sciences de l'Environnement ou en biogéochimie**. Des compétences en **sédimentologie, biogéochimie et/ou diagenèse** sont attendus. Des connaissances en géomicrobiologie ou microbiologie environnementale seraient un complément intéressant. L'utilisation des logiciels SIG (ex. ArcGIS) et le codage sous R ou Python pour les statistiques seront également des plus.

Parmi les savoirs être, nous attendons que le/la chercheur(e) fasse preuve d'une **appétence pour le travail sur terrain et en laboratoire, pour le travail en équipe et la**

communication. Une certaine **autonomie** est attendue, notamment dans le **travail de laboratoire, de traitement des données et de rédaction des publications scientifiques.** Un **bon sens de l'organisation** sera nécessaire **pour coordonner les missions de terrain** et les analyses. **La curiosité scientifique et la motivation pour ce sujet** seront indispensables.

Pour poser des questions ou déposer sa candidature

Pour toute question sur le projet ou les conditions de travail, contactez-nous par mail (raphael.bourillot@bordeaux-inp.fr).

Pour candidater, **envoyez un CV, une lettre de motivation, et le contact de deux référents** à cette même adresse au plus tard le 13 décembre 2024 au soir. Les candidat.e.s sélectionnés seront conviés à un entretien avec les membres du projet EXODIA.

Références bibliographiques sélectionnées

- [1] de Souza Machado A. A., et al., Metal fate and effects in estuaries: A review and conceptual model for better understanding of toxicity . Sci. Total Environ. 541, 268–281. (2016).
- [2] Schäfer J., et al., Impact of metallurgy tailings in a major European fluvial- estuarine system: Trajectories and resilience over seven decades. Sci. Total Environ., 150195. (2021).
- [3] Decho A. W., Microbial biofilms in intertidal systems: An overview. Cont. Shelf Res. 20, 1257–1273. (2000).
- [4] Braissant O., et al., Exopolymeric substances of sulfate-reducing bacteria: Interactions with calcium at alkaline pH and implication for the formation of carbonate minerals. Geobiology 5, 401–411. (2007).
- [5] Bhaskar P. V., et al., Bacterial extracellular polymeric substance (EPS): A carrier of heavy metals in the marine food-chain in Environ. Int., pp. 191–198. (2006)
- [6] Duteil T., et al., Experimental formation of clay-coated sand grains using diatom biofilm exopolymers. Geology 48, 1012–1017. (2020).
- [7] Schlekot C. E., et al., Sorption of cadmium to bacterial extracellular polymeric sediment coatings under estuarine conditions. Environ. Toxicol. Chem. 17, 1867–1874. (1998).
- [8] Underwood G.J., & Paterson D.M., The importance of extracellular carbohydrate production by marine epipelagic diatoms. Adv . Bot. Res. 40, 183-240. (2003).
- [9] Braissant O., et al., Characteristics and turnover of exopolymeric substances in a hypersaline microbial mat. FEMS Microbiol. Ecol. 67, 293–307. (2009).
- [10] Duteil T., et al., Preservation of exopolymeric substances in estuarine sediments. Front. Microbiol. 13. (2022).
- [11] Sforna M. C., et al., Patterns of metal distribution in hypersaline microbialites during early diagenesis: Implications for the fossil record. Geobiology 15, 259–279. (2017).
- [12] Norman L., et al., The role of bacterial and algal exopolymeric substances in iron chemistry . Mar. Chem. 173, 148–161. (2015).
- [13] Braissant O., et al., A review of methods to determine viability, vitality , and metabolic rates in microbiology. Front. Microbiol. 11. (2020).
- [14] Tercier-Waeber M. L., et al., Newly designed gel-integrated nanostructured gold-based interconnected microelectrode arrays for continuous in situ arsenite monitoring in aquatic systems. Sensors Actuators, B Chem. 328, 128996. (2021).
- [15] Strady E., et al., Tracing cadmium contamination kinetics and pathways in oysters (*Crassostrea gigas*) by multiple stable Cd isotope spike experiments. Ecotoxicol. Environ. Saf. 74, 600–606. (2011).