



Sujet de thèse Université La Rochelle - 2018

Mécanismes de biominéralisation par les microorganismes en milieu marin, couplée à la protection cathodique des structures métalliques, afin d'augmenter la durée de vie des ouvrages du littoral

Descriptif du sujet

La biominéralisation, ou la production de minéraux par des êtres vivants, est un phénomène très répandu dans la nature : le squelette, les coquillages, les carapaces de crustacés mais aussi certaines formations géologiques sont le résultat de la biominéralisation. Afin de répondre aux défis technologiques actuels et de créer de nouveaux matériaux respectueux de l'environnement, de plus en plus de travaux visent à utiliser la biominéralisation dans des domaines spécifiques comme la médecine ou l'industrie. En effet, certaines bactéries ont la faculté de produire des cristaux de carbonate de calcium lorsqu'elles se développent dans un milieu riche en ions calcium. Or, le carbonate de calcium, en particulier sous la forme de calcite, est un matériau aux propriétés intéressantes car il peut être utilisé pour consolider des enrochements naturels ou bien pour entretenir des ouvrages en matériaux cimentaires. Un agglomérat minéral calcomagnésien peut également se former à la surface d'un métal placé sous « protection cathodique » dans l'eau de mer, méthode électrochimique couramment utilisée pour protéger contre la corrosion marine les ouvrages métalliques enterrés ou immergés. Une adaptation innovante de ce procédé consiste à favoriser, par électrolyse de l'eau de mer, la création d'un dépôt minéral à partir du calcium et du magnésium naturellement présents dans l'eau de mer, jouant le rôle d'un ciment naturel entre les sédiments (sable, coquillages, galets,...). On crée, ainsi, un matériau extrêmement résistant adhérent à un support métallique servant de cathode qui donne une grande cohésion à l'ensemble de la structure. Ces dépôts calcomagnésiens sont comparables à ceux formés naturellement dans l'environnement (beachrock...) et peuvent favoriser ainsi le maintien en place du sable des plages ou, dans d'autres cas, améliorer l'ancrage des enrochements servant de digues ou de brise-lames. De plus, l'impact sur l'environnement de ce procédé est faible (peu ou pas de matériaux d'apport), voire positif puisqu'il pourrait permettre également le recyclage de certains déchets anthropiques (déchets inertes du BTP riches en carbonate de calcium).

La formation de ces éco-matériaux représente une solution alternative très prometteuse pour réduire l'érosion des côtes océaniques, conséquence de la montée progressive des océans et des phénomènes climatiques violents. En effet, les côtes françaises sont particulièrement touchées ces dernières années, notamment en Nouvelle Aquitaine, où le processus d'érosion est très rapide. Ainsi, dans une volonté de protection des zones côtières, il est nécessaire de trouver un moyen de lutte efficace contre l'érosion avec un impact le plus limité possible sur l'environnement littoral et sans contraindre les intérêts socio-économiques.

Depuis quelques années, des chercheurs du LaSIE étudient les mécanismes physico-chimiques de la formation des dépôts calcomagnésiens (ANR Ecocorail 2014-2018). Les

résultats obtenus nous ont conduit à réaliser des études préliminaires qui ont montré que ce procédé, à la base électrochimique, va d'une part, modifier l'interface métal/eau de mer (pH, composition, ...) et donc influencer l'adhésion des microorganismes vivant dans l'environnement côtier et, d'autre part, impliquer ces microorganismes dans la formation du dépôt par le processus naturel de biominéralisation.

L'objectif de ce projet de thèse est ainsi d'étudier l'influence des microorganismes (bactéries, archées, protistes, mycètes) dans la formation des dépôts calcomagnésiens en milieu marin, afin de mieux comprendre les phénomènes de bioprécipitation des minéraux couplés à la protection cathodique des métaux. De plus, l'optimisation des conditions expérimentales de formation des dépôts calcomagnésiens sous l'influence des microorganismes est également nécessaire afin de permettre leur exploitation à plus grande échelle dans des cas sévères d'érosion marine. Réalisées en conditions contrôlées au laboratoire, les expérimentations menées pendant cette thèse auront pour objectif d'évaluer le potentiel biotechnologique des microorganismes dans la bioprécipitation des minéraux pour la formation des agglomérats calcomagnésiens associés ou non au procédé physico-chimique de protection cathodique. En parallèle, des échantillons obtenus en conditions réelles (eau de mer naturelle des côtes Rochelaises) permettront d'identifier les microorganismes vivant dans ces structures calcomagnésiennes spécifiques et d'en étudier leur apport à la croissance minérale. Un enjeu supplémentaire sera aussi de déterminer le microbiote spécifique se développant sur les structures portuaires presque toutes placées sous protection cathodique par rapport au microbiote se développant sur un acier non protégé.

A long terme, les principaux champs d'application concernés par ce projet sont le génie civil (infrastructures portuaires, ouvrages d'art, béton armé, architecture métallique) et le génie côtier (protection du littoral, consolidation des falaises et des digues, stabilisation des plages).

Ce travail se fera en partenariat entre le laboratoire LIENSs pour le volet biologique et le LaSIE pour l'étude des paramètres physico-chimiques du phénomène.

Ce projet de thèse se décompose en trois grands volets :

1) Le premier volet consistera à évaluer, dans différents dépôts calcomagnésiens formés en milieu naturel et sous protection cathodique, la biodiversité des microorganismes (bactéries, archées, protistes, mycètes). Cette diversité des microorganismes procaryotes et eucaryotes sera étudiée par métagénomique via i) le séquençage ciblé des gènes codant pour les ARNr 16S et 18S et ii) le séquençage plus global des génomes. Ces deux approches permettront respectivement d'identifier les différents microorganismes présents et de rechercher des gènes impliqués dans des voies métaboliques potentiellement responsables de la biominéralisation.

2) Le deuxième volet consistera en la mise en place des conditions de laboratoire permettant la bioprécipitation du calcaire sur des surfaces métalliques avec ou sans protection cathodique, en utilisant divers matériaux (sable, débris de béton...) et en présence de microorganismes choisis selon les résultats obtenus dans le 1er volet. Les agglomérats calcomagnésiens ainsi formés seront analysés (composition chimique) et caractérisés (structure, propriétés mécaniques). En faisant varier différents paramètres (matériau, pH, température, consortium microbien...), le doctorant décryptera les mécanismes de bioprécipitation du calcaire et déterminera les conditions qui favorisent ou au contraire défavorisent cette biominéralisation.

Un effort particulier sera porté sur le paramètre « consortium microbien ». En effet, ces mélanges de microorganismes peuvent former des biofilms, dont la nature chimique et la structure complexe, couplées aux conditions environnementales, peuvent favoriser comme

inhiber la précipitation de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium. Les facteurs influençant ces paramètres étant encore peu connus, l'impact de la formation de biofilm (composition du biofilm, nature des substances polymériques extracellulaires) sur la précipitation des ions calcium et magnésium (quantité, forme et nature des cristaux) sera examiné.

3) Dans un troisième volet, le doctorant pourra explorer dans quelle mesure les conditions de laboratoire optimales pourraient être reproduites *in situ*, dans la mesure où les microorganismes potentiellement responsables de la biominéralisation sont déjà naturellement présents dans le milieu marin. Des échantillons intégrant ces microorganismes spécifiques pourraient ainsi être installés en eau de mer naturelle sur deux sites différents : i) le site expérimental de formation de l'agglomérat calcomagnésien sur la commune d'Angoulins/mer (sud La Rochelle) et ii) le port des Minimes de La Rochelle où le LaSIE dispose d'une plateforme d'expérimentation *in situ*.

Accompagnement du doctorant

Accompagnement humain :

La direction de la thèse sera partagée entre **Sophie Sablé** MCF HDR, microbiologiste au laboratoire LIENSs, et **Marc Jeannin** MCF HDR, physico-chimiste au LaSIE.

Le doctorant pourra bénéficier également des expertises en biologie moléculaire, biologie marine, écologie microbienne, biotechnologie, géophysique des autres membres du laboratoire LIENSs ainsi que des expertises en physico-chimie des matériaux et génie civil des membres du LaSIE.

Matériel :

Dans le laboratoire LIENSs, le doctorant disposera de tous les équipements du plateau technique de Microbiologie / cultures et incubations / microscopie, nécessaires à la culture et caractérisation des microorganismes (laboratoires de microbiologie L1 et L2 avec PSM, microscopes à fluorescence et station d'imagerie, étuves et incubateurs thermostatés, autoclave, centrifugeuses et ultra-centrifugeuse).

Le doctorant bénéficiera également du soutien des plateformes de :

1) Cytométrie/imagerie (Cytomètre en flux).

2) Biologie moléculaire (thermocycleurs, appareil de PCR en temps réel, nanodrop, matériel d'électrophorèse, électrophorèse en champ pulsé, centrifugeuses, scanner à fluorescence).

Pour la métagénomique, nous ferons appel à la Plateforme expérimentale INRA Transfert (Toulouse) en prestation de service.

Le LaSIE fournira tous les moyens dont il dispose en matériel électrochimique et en méthodes de caractérisation des minéraux (Micro-Spectromètre Raman, IRTF, DRX, MEB, Fluo X,...). Il mettra aussi à disposition ses plateformes in-situ à Angoulins sur mer et au port des Minimes.

Compétences du candidat

Nous recherchons un candidat très motivé avec des acquis solides en microbiologie, biologie moléculaire, biochimie et chimie. Des connaissances et une expérience en électrochimie seront appréciés. Le candidat doit être ouvert d'esprit et être capable de travailler à l'interface de divers disciplines.

Contacts

- Sophie Sablé, sophie.sable@univ-lr.fr

Laboratoire Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 Université de La Rochelle-CNRS, Université de La Rochelle, Bâtiment Marie Curie, Av. Michel Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01. <https://lienss.univ-larochelle.fr/>

- Marc Jeannin, marc.jeannin@univ-lr.fr

Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE), UMR 7356 Université de La Rochelle-CNRS, Université de La Rochelle, Bât Marie Curie, Av. Michel Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01. <http://lasie.univ-larochelle.fr/>

Candidature

Dossier de candidature à télécharger sur

<https://www.univ-larochelle.fr/wp-content/uploads/pdf/CandidatureFinancementED-2018s.pdf>

Le dossier de candidature est à envoyer par mail aux contacts ci-dessus.

Date limite : 28 mai 2018.