

Croissance coquillière au cours du développement de l'ormeau européen *Haliotis tuberculata*

Direction :

- Thierry Azais, Laboratoire Chimie de la Matière Condensée de Paris (LCMCP), UMR 7574, Collège de France, 11 place Marcelin Berthelot, 75005 Paris, thierry.azais@upmc.fr
- Stéphanie Auzoux-Bordenave, UMR 7208 BOREA : « Biologie des Organismes Marins et Ecosystèmes Aquatiques ». Station de Biologie marine, MNHN, Concarneau, bordenav@mnhn.fr

Collaborations : Nadine Nassif (UMR 7574-Paris) ; Aïcha Badou (Station de Concarneau) ; Claire Lazareth (UMR 7159 LOCEAN-Paris) ; Sylvain Huchette (SCEA France-Haliotis, Plouguerneau)

Financement : UPMC LabEx Matisse, Région Bretagne (en cours d'évaluation).

Autres programmes de rattachement : Programme Emergence « Morphonacre » (Sorbonne-Universités 2015-2016), ATM « Interface » (MNHN, 2015-2016), ANR « ADRESCO » (en cours d'évaluation)

Mots clefs : Biominéralisation, RMN à l'état solide, aragonite, nacre, *Haliotis tuberculata*

Problématique générale

Le projet de thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire (biologie-chimie des matériaux) qui vise à mieux comprendre les processus fondamentaux de la morphogenèse des biominéraux lors de la croissance coquillière des Mollusques. Dans ce contexte, nos travaux s'appuient sur l'ormeau Européen *Haliotis tuberculata*, un Mollusque gastéropode d'intérêt écologique et économique qui est exploité en Bretagne pour sa chair comestible et sa coquille nacrée. Nos précédents travaux sur l'ormeau ont permis de documenter les étapes précoces de la morphogenèse coquillière et d'appréhender le contrôle de la biominéralisation [1-3]. Récemment, le couplage d'analyses au MEB, en spectroscopie infra-rouge et à la sonde ionique NanoSIMS a mis en évidence, dans la coquille en développement, la relation entre microstructure coquillière et composition en éléments traces [4].

Résumé du projet de thèse

Parmi les composantes de la coquille carbonatée des Mollusques, une particulière attention sera portée à la nacre. Elle peut être décrite comme un matériau hybride où l'aragonite, un polymorphe métastable de carbonate de calcium (CaCO_3), est intimement liée à une composante organique. Son organisation hiérarchique confère à ce composite des propriétés mécaniques remarquables. Néanmoins, si l'ultrastructure de la nacre est relativement bien connue, sa formation l'est beaucoup moins. En particulier, la formation des cristaux d'aragonite (*i.e.* la nucléation, la croissance et le contrôle morphologique), le rôle du carbonate de calcium amorphe (ACC) [5] ainsi que les interactions présentes à l'interface organo-minérale sont actuellement largement méconnus.

Dans ce contexte, l'objectif général de la thèse visera à caractériser les processus de morphogenèse coquillière au cours du développement de l'ormeau grâce à une approche couplée de biologie et de chimie des matériaux. La collaboration déjà établie avec l'écloserie « France Haliotis » (Dr. Sylvain Huchette), qui maîtrise le cycle de développement de l'ormeau, permettra d'accéder à *tous les stades du développement* de l'ormeau, de la larve à l'adulte.

Les travaux de thèse s'articuleront autour de 4 axes principaux :

1. Une étude par des techniques avancées de résonance magnétique nucléaire (RMN) à l'état solide afin détecter la nature des biominéraux déposés lors de la croissance coquillière et leur évolution de la larve à l'adulte. Nous utiliserons cette technique comme technique de caractérisation principale

(mais non exclusive) en raison de sa capacité à être une sonde locale de la matière [6]. La collaboration initiée depuis 2012 entre les deux partenaires du projet a montré qu'il était possible de détecter par RMN du solide (noyau ^{13}C) le signal des ions carbonates et de discriminer les formes amorphes et cristallines du CaCO_3 dans la coquille d'ormeau.

2. Une analyse ultrastructurale et minéralogique de la coquille et de l'interface tissu-coquille en microscopie électronique (MEB et MET) et spectroscopie infra-rouge (FTIR) ; une attention particulière sera portée à la détection d'ACC, en tant que précurseur des cristaux d'aragonite, afin d'identifier les sites de nucléation.
3. Une approche cellulaire et moléculaire visant à identifier les composants organiques mis en jeu au cours de la séquence de biominéralisation (immunohistochimie, expression de gènes). Cette approche s'appuie sur l'identification et la localisation chez l'ormeau de protéines et enzymes impliquées dans la biominéralisation, notamment dans la mise en place de la couche nacrée.
4. Une approche par synthèse *in vitro* de modèles biomimétiques de carbonates de calcium précipités en présence ou en absence de composés organiques identifiés comme étant impliqué dans la nucléation et la croissance de CaCO_3 *in vivo*. Ces échantillons serviront de références spectroscopiques.

Le couplage des analyses spectroscopiques et ultrastructurales permettra d'identifier la nature des biominéraux (ACC, calcite, aragonite), de préciser leur distribution spatiale et de différencier les formes amorphes (ACC) et cristallisées (calcite, aragonite) du CaCO_3 . Les analyses seront réalisées sur les plateformes RMN du LCMCP et de spectroscopie Infra-rouge du MNHN.

L'ensemble de ces travaux permettra de mettre en relation les mécanismes biologiques avec les processus de formation des biominéraux au cours du développement de la coquille de l'ormeau.

Pour ses travaux, le (la) doctorant (e) aura accès aux plates-formes analytiques disponibles dans les laboratoires d'accueil à l'UPMC (RMN du solide, Raman) et au MNHN sur les sites de Paris (MEB /MET-EDX, FTIR) et de la station marine de Concarneau (aquariologie, sclérologie).

Le (la) doctorant(e) sera basé(e) au Laboratoire Chimie de la Matière Condensée de Paris (LCMCP). Pour ses travaux, il (elle) sera amené(e) à effectuer plusieurs séjours à la station de Biologie marine du MNHN à Concarneau pour les prélèvements de matériel biologique, le conditionnement et la préparation des échantillons et le développement de l'approche cellulaire et moléculaire.

Références:

- [1] Auzoux-Bordenave S. *et al.*, *J. Struct. Biol.*, **2010**, 171: 277-290.
- [2] Gaume B. *et al.*, *Mar. Biol.* **2011**, 158: 341-353.
- [3] Gaume B. *et al.*, *Comp. Biochem. Physiol. B*, **2014**, 169: 1-8.
- [4] Auzoux-Bordenave S. *et al.*, *Marine Biology*, **2015**, 162, (3): 687-697.
- [5] N. Nassif *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **2005**, 102, 36, 12653-12655.
- [6] Y. Wang, S. Von Euw *et al.*, *Nature Materials* **2013**, 12, 1144-1153.

Compétences requises

L'étudiant (e) recruté(e) devra avoir des bases solides en biologie marine et/ou en chimie des matériaux. Il (elle) sera motivé par une recherche pluridisciplinaire incluant des prélèvements de matériel biologique *in situ* et la combinaison d'outils analytiques variés.

De bonnes connaissances dans le domaine des biominéralisations/biomatériaux sont vivement souhaitées; des connaissances en RMN du solide seront un plus.

Durée

3 ans, début : 01 octobre 2015

Candidature

Date limite : 30 juin 2015

Fournir un CV complet, une lettre de motivation et les coordonnées et e-mail de deux enseignants-chercheurs /chercheurs référents.

Envoi candidature et demande de renseignements : Thierry Azaïs, thierry.azais@upmc.fr (01 44 27 15 43) et Stéphanie Auzoux-Bordenave, bordenav@mnhn.fr (02 98 50 42 88).