

Projet de Recherche Doctoral Concours IPV 2021

Intitulé du Projet de Recherche Doctoral :

Effets combinés du réchauffement et de l'acidification des océans sur l'ormeau Européen: approche intégrative en mésocosmes

Directeur de Thèse porteur du projet (titulaire d'une HDR) :

NOM : **AUZOUX-BORDENAVE** Prénom : **Stéphanie**

Titre : Maître de Conférences (SU)

e-mail : stephanie.auzoux-bordenave@mnhn.fr

Adresse professionnelle : UMR BOREA, Station Marine de Concarneau (MNHN)
Place de la Croix, 29 900 Concarneau

Unité de Recherche : BOREA

Intitulé : Laboratoire de Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques

Code : 8067 CNRS

Equipe de Recherche (au sein de l'unité) : EMERGE

Intitulé : Environnement, epi-génoMEs, déteRminismes et OntoGENèses

Thématique de recherche : Déterminisme des processus d'ontogenèse, Influence des conditions environnementales sur le développement et la morphogenèse

Responsable d'équipe :

NOM : **BARATTE**

Prénom : **Sébastien**

Ecole Doctorale de rattachement de l'équipe & d'inscription du doctorant : ED 227

Doctorants actuellement encadrés par le directeur de thèse (préciser le nombre de doctorants, leur année de 1ere inscription et la quotité d'encadrement) : 0

CO-DIRECTION (obligatoire)

Co-Directeur de Thèse (titulaire d'une HDR) :

NOM : **ROUSSEL**

Prénom : **Sabine**

Titre : Maître de Conférences (UBO)

HDR



e-mail : sabine.rousseau@univ-brest.fr

Unité de Recherche : LEMAR

Intitulé : Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin

Code: 6539 CNRS

Equipe de Recherche (au sein de l'unité) : PANORAMA

Intitulé : **Physiologie intégrative et adaptation des organismes marins**

Thématique de recherche : Physiologie intégrative et adaptation des organismes marins : du gène à la population

Responsable d'équipe :

NOM : **TITO DE MORAIS**

Prénom : **Luis**

Ecole Doctorale non SU : l'Ecole Doctorale des Sciences de la Mer et du Littoral, UBO, Brest

Doctorants actuellement encadrés par le co-directeur de thèse (préciser le nombre de doctorants, leur année de 1ere inscription et la quotité d'encadrement) :

1 doctorant : Pierre CHAUVAUD

Année d'inscription : 2018 (quotité d'encadrement : 60%)

Cotutelle internationale : Non Oui, précisez Pays et Université :

Précisez ici les éventuels co-encadrants (non HDR)

Co-encadrant :

NOM : **MARTIN**

Titre : CR CNRS

e-mail : smartin@sb-roscoff.fr

Unité de Recherche : AD2M

Intitulé : Laboratoire Adaptation et Diversité en Milieu Marin

Code :

Equipe de Recherche (au sein de l'unité) :

Intitulé : **Equipe écogéochimie et dynamique des écosystèmes côtiers (EDYCO)**

Thématique de recherche : Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques.

Réponses des organismes et des communautés aux changements environnementaux.

Prénom : **Sophie**

HDR



Responsable d'équipe :

NOM : **RIERA**

Ecole Doctorale de rattachement : ED 227

Prénom : **Pascal**

Résumé (2 000 caractères maximum) :

L'acidification et le réchauffement des océans représentent un enjeu environnemental majeur. Selon les prévisions des experts, la température de surface pourrait s'élever de 1 à 3°C et le pH pourrait diminuer de 0,2 à 0,4 unités d'ici à 2100. Les mollusques, qui élaborent une coquille en CaCO₃, sont particulièrement vulnérables à ces changements. L'ormeau européen *Haliotis tuberculata* est un mollusque d'intérêt écologique et économique, naturellement présent sur le littoral breton, dont l'élevage est en plein essor. De récents travaux de notre équipe ont montré qu'une acidification expérimentale de l'eau de mer (-0.3 unité pH) entraînait des effets négatifs sur la croissance, la physiologie et la biominéralisation de l'ormeau à différents stades du cycle biologique. En milieu naturel, les effets de l'acidification se conjuguent avec d'autres facteurs, notamment l'élévation de température, ce qui peut entraîner une exacerbation ou une atténuation des effets du pH. Des mortalités estivales dans les populations d'ormeaux ont été associées au développement d'agents pathogènes et au réchauffement de l'eau de mer. Toutefois, les effets combinés de l'acidification et du réchauffement sur *H. tuberculata* sont encore mal connus et pourraient compromettre le renouvellement et la valeur économique de la ressource.

Dans ce contexte, le projet de thèse interdisciplinaire se propose d'analyser la variabilité environnementale des paramètres physico-chimiques *in situ* et de déterminer expérimentalement les effets combinés du réchauffement et de l'acidification des océans chez l'ormeau européen.

Le projet à l'interface chimie-biologie marine combinera des mesures physico-chimiques, biologiques et comportementales grâce à la complémentarité des équipes encadrantes. La caractérisation des paramètres de l'enveloppe environnementale permettra d'intégrer la variabilité de ces paramètres (température et pH) dans les expérimentations en mésocosmes. Une approche multi-espèces permettra de prendre en compte les interactions trophiques (ormeau-algues-prédateurs) et de renforcer la pertinence écologique des résultats.

Le projet permettra d'anticiper les effets du changement océanique sur les populations d'ormeaux et contribuera à l'exploitation durable de la ressource.

Annexe: Description du Projet de Recherche Doctoral

Intitulé du Projet de Recherche Doctoral :

Effets combinés du réchauffement et de l'acidification des océans sur l'ormeau Européen: approche intégrative en mésocosmes

Acronyme: **ORMOCLIM**

Contexte et objectifs:

L'acidification et le réchauffement des océans représentent un enjeu environnemental majeur. Selon les prévisions des experts, la température de surface pourrait s'élever de 1 à 3°C et le pH océanique pourrait diminuer de 0,2 à 0,4 unités d'ici à 2100. Les mollusques, qui élaborent une coquille en CaCO₃, sont particulièrement vulnérables à ces changements. L'ormeau européen *Haliotis tuberculata* est un mollusque d'intérêt écologique et économique, naturellement présent sur le littoral breton, dont l'élevage est actuellement en plein essor. Plusieurs travaux récents de notre équipe ont permis de mieux comprendre les conséquences de l'acidification sur son cycle de vie. Les résultats ont montré des effets négatifs de l'acidification sur la croissance et la biominéralisation des larves ainsi qu'une réduction du pH interne, de la croissance et de l'investissement gonadique chez les adultes [1-3]. En milieu naturel, les effets de l'acidification se conjuguent avec d'autres facteurs, notamment l'élévation de la température, ce qui peut conduire à une exacerbation ou au contraire à une atténuation des effets du pH [4]. Chez l'ormeau, des mortalités estivales ont pu être associées au développement d'agents pathogènes et à l'élévation de la température de l'eau de mer [5]. Toutefois, les effets combinés de l'acidification et du réchauffement sur *H. tuberculata* sont encore mal connus et pourraient compromettre le renouvellement des populations sauvages et la valeur économique de la ressource.

Dans ce contexte, le projet doctoral visera à répondre aux questions suivantes:

- quelles sont les conditions physico-chimiques locales et quelle est l'amplitude des variations locales/ saisonnières de ces paramètres dans le milieu naturel et dans le milieu d'élevage de l'ormeau européen ?
- les variations locales et saisonnières de pH et de température peuvent-elles influencer la croissance, la physiologie et le comportement de l'ormeau ?
- la quantité /qualité de la nourriture et la présence de prédateurs sont-elles susceptibles de modifier les réponses de l'ormeau à ces variations des conditions environnementales ?

Afin d'appréhender l'amplitude des variations des paramètres dans l'environnement de l'ormeau, un premier objectif de la thèse visera à mesurer mensuellement les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer sur les sites aquacoles et en milieu naturel. La connaissance des fluctuations du milieu environnant permettra de mieux anticiper les effets biologiques sur les ormeaux en intégrant la variabilité des conditions physico-chimiques *in situ* (température et pH) dans l'approche expérimentale en mésocosmes.

Un deuxième objectif prévoit d'analyser sur le long terme les effets combinés du réchauffement et de l'acidification de l'eau de mer chez l'ormeau *H. tuberculata*. Des individus juvéniles seront maintenus durant 12 mois en mésocosmes en intégrant les variations locales de pH/T°C, les ressources alimentaires (macro-algues) et la présence de prédateurs afin de mimer les interactions entre espèces et les conditions du milieu naturel. Une approche intégrative combinant des mesures biologiques, physiologiques et comportementales sera mise en œuvre grâce à la complémentarité des expertises des partenaires.

L'originalité du projet consistera à intégrer la variabilité naturelle des paramètres de l'enveloppe environnementale (température et pH) dans les expérimentations en mésocosmes, ce qui permettra de mieux mimer les conditions naturelles dans les scénarios de changement climatique. L'approche multi-espèces est une approche novatrice qui permettra de prendre en compte les interactions écologiques (ormeau-macro-algues-prédateurs) dans l'expérimentation.

Les expertises complémentaires des partenaires permettront de mettre en place un plan d'expérience robuste intégrant les différentes composantes abiotiques et biotiques. L'évaluation des effets combinés du réchauffement et de l'acidification dans un système multi-espèces renforcera la pertinence écologique des résultats.

Références

[1] Wessel et al JEMBE, 508 : 52-63 (2018) [2] Auzoux-Bordenave et al Mar Biol. (2020) [3] Avignon et al, ICES J. Mar Sc (2020) [4] Kroeker KJ et al. GCB 19 (6): 1884–1896 (2013) [5] Travers A. et al GCB 15: 1365–1376 (2009).

Descriptif du sujet de thèse et méthodes envisagées:

Le projet de thèse à l'interface chimie-biologie marine combinera des mesures sur le terrain et des expérimentations contrôlées en laboratoire. L'implication dans le projet de l'écloserie France-Haliotis, qui maîtrise le cycle complet du développement de l'orveau, permettra d'accéder aux infrastructures aquacoles afin de mesurer en continu les paramètres physico-chimiques et de mettre en place les expérimentations en mésocosmes.

Des mesures mensuelles des paramètres physico-chimiques (pH, température, salinité, oxygène dissous, alcalinité totale et concentration en sels nutritifs) seront réalisées en parallèle sur les sites aquacoles et en milieu naturel afin d'évaluer les variations locales et saisonnières de l'enveloppe environnementale. Les mesures en continu du pH et de la température de l'eau de mer *in situ* seront réalisées à l'aide de sondes submersibles autonomes (SeaFet et CTD). Les mesures d'alcalinité totale seront effectuées au laboratoire AD2M (Roscoff). Les données de pH, d'alcalinité totale et de chimie des carbonates seront analysées en collaboration avec les laboratoires partenaires de Roscoff et de l'ULB (Bruxelles). Les analyses des sels nutritifs seront réalisées sur la plateforme de dosage des sels nutritifs du LEMAR (UBO).

La partie expérimentale du projet s'appuiera sur la mise en place d'expérimentations en mésocosmes afin d'évaluer les effets à long terme d'une combinaison de deux pH (pH ambiant ; pH ambiant -0,3 unité) et deux températures (T°C locale ; T°C locale + 3°C) selon le scénario RCP 8.5 de l'IPCC. Les pH et températures testés seront ajustés à l'aide d'un contrôleur de pH/T°C (IKS, Aquastar). Le pH sera ajusté par injection de CO₂ dans des bacs tampons en amont des aquariums et la température sera contrôlée par l'immersion de résistances dans des bains marie dans lesquels seront placés les aquariums. Les paramètres de chimie des carbonates de l'eau de mer seront calculés à partir des mesures de pH sur l'échelle totale (pHT) et de l'alcalinité totale des échantillons d'eau de mer. Des orveaux juvéniles seront maintenus durant 12 mois en mésocosmes en intégrant les ressources alimentaires (algues) et la présence de prédateurs afin de mimer les interactions entre espèces et les conditions du milieu naturel. A l'issue de la période d'exposition aux stress, une approche multidisciplinaire combinant des mesures biologiques (survie, croissance), physiologiques (balance acide-base, respiration, immunité, calcification) et comportementales (retournement, fuite face au prédateur) sera mise en oeuvre grâce à la complémentarité des expertises des partenaires.

L'approche multi-factorielle intégrera également la quantité et la qualité de l'alimentation (macroalgues). Des expériences d'incorporation d'isotopes stables (¹³C and ¹⁵N) seront réalisées afin de quantifier les interactions trophiques entre les orveaux et les macroalgues. Les analyses isotopiques seront réalisées sur la plateforme de spectrométrie de masse de la station biologique de Roscoff.

La recherche utilisera une combinaison d'outils analytiques (MEB, biomécanique, écophysiologie, biologie moléculaire) afin de caractériser les effets combinés de l'acidification et du réchauffement sur la formation, la composition et la résistance de la coquille. Les analyses morphologiques et microstructurales de la coquille seront effectuées sur la plateforme de microscopie électronique du Muséum (MEB, station de Concarneau). Les propriétés mécaniques et la résistance de la coquille seront évaluées grâce à des tests de compression et de nano-indentation en collaboration avec le laboratoire de biologie marine de l'ULB (Bruxelles). Des analyses complémentaires d'expression de gènes impliqués dans la croissance et la calcification seront effectuées par qRT-PCR sur le plateau de biologie moléculaire du laboratoire LEMAR (UBO, Brest).

Environnement scientifique et positionnement dans le contexte régional, national et international :

Au niveau national, le projet bénéficiera du contexte scientifique et technologique procuré par le Labex Mer 'A changing ocean', le programme 'Acidification des Océans' (MTES/FRB) et le programme Emergence 'WARMOABALONE' (SU) qui impliquent plusieurs partenaires du projet doctoral. Au niveau régional, le projet sera adossé à plusieurs programmes de recherche labellisés par le 'Pôle mer Bretagne Atlantique' concernant notamment le repeuplement de l'ormeau européen (projet 'OURMEL', FEAMP) et la valorisation des algues (POLISTR et GENIALG). La complémentarité des équipes partenaires en aquaculture /zootechnie (France-Haliotis), en écophysiologie et chimie marine (UMR AD2M, Roscoff), en biominéralisation (BOREA) ainsi que dans les domaines du comportement et de l'écologie marine (LEMAR UBO) procurera l'environnement scientifique nécessaire au développement du projet.

A l'échelle internationale la recherche doctorale s'appuiera sur les collaborations existantes avec l'Université Libre de Bruxelles (P. Dubois, Belgique), l'Université de Las Palmas (G. Courtois, Espagne) et l'Université de Melbourne (R Day, Australie). Il bénéficiera également des développements du programme européen Aquavita sur l'aquaculture multi-trophique (France-Haliotis, Univ Las Palmas).

Co-Financement: 50% Allocation de Recherche Doctorale_Région Bretagne (ARED) demandé

Profil recherché:

Le candidat.e devra posséder de solides connaissances en biologie marine et/ou chimie marine. Il. elle sera motivé par une recherche pluridisciplinaire incluant des mesures physico-chimiques sur le terrain, des expérimentations en mésocosmes et la combinaison de méthodologies variées (microscopie électronique, biomécanique, chimie marine, mesures physiologiques, tests comportementaux, analyses isotopiques...) dans les laboratoires d'accueil.

Publications récentes des directrices de thèse avec leurs anciens doctorants/post-doctorants:

Wessel N, Martin S, Badou A, Dubois P, Huchette S, Julia V, Nunes F, Harney E, Paillard C, Auzoux-Bordenave S., 2018. Effect of CO₂-induced ocean acidification on the early development and shell mineralization of the European abalone (*Haliotis tuberculata*). J Exp Mar Biol Ecol 508 : 52-63 <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2018.08.005>

Auzoux-Bordenave S., Wessel N., Badou A., Martin S., M'Zoudi S., Avignon S., Roussel S., Huchette S., Dubois P., 2020. Ocean acidification impacts growth and shell mineralization in juvenile abalone (*Haliotis tuberculata*). Mar Biol 167: 11. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3623-0>

Avignon S., Auzoux-Bordenave S., Martin S., Dubois P., Badou A., Roussel S., Huchette S. et al. 2020. An integrated investigation of the effects of ocean acidification on adult abalone (*Haliotis tuberculata*). ICES J Mar. Sc., 77 (2) : 757–772, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz257>

Roussel S., Bisch T, Lachambre S, Boudry P and others, 2019. Anti-predator response of *Haliotis tuberculata* is modified after only one generation of domestication. Aquacult Environ Interact 11:129-142. <https://doi.org/10.3354/aei00300>

Roussel S., Caralp C., Leblanc C., Le Grand F., Stiger-Pouvreau V., Coulombet C., Le Goïc N., Huchette S., 2019. Impact of nine macroalgal diets on growth and initial reproductive investment in juvenile abalone *Haliotis tuberculata*. Aquaculture, 734385. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734385>

Chapperon C., Clavier J., Dugué C., Amice E., Le Goff M., Roussel S., 2019. Seasonal and diurnal variability in carbon respiration, calcification and excretion rates of the abalone *Haliotis tuberculata* L. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 99, 393-402. <https://doi.org/10.1017/S0025315418000097>

Roussel S., Poitevin P, Day R, Le Grand, F., Stiger-Pouvreau, V., Leblanc, C., Huchette, S. 2020. *Haliotis tuberculata*, a generalist marine herbivore that prefers a mixed diet, but with consistent individual foraging activity. *Ethology*. 2020;00:1–11. <https://doi.org/10.1111/eth.13020>

AVIS et VALIDATION de l'ECOLE DOCTORALE :

Avis très favorable. Sujet validé.



Nathalie Machon Directrice de l'ED227