



ACIDIFICATION DES OCÉANS

Fiche résultat

ECOSYSTEME

Impact écosystémique : les cyanobactéries, séquestreurs de CO₂ et producteurs des « keystone » molécules structurant les écosystèmes.

Porteur du projet : Projet porté par Suzanne MILLS (Université de Perpignan-Criobe)

Début et fin du projet : 2017-2020

Les récifs coralliens, écosystèmes parmi les plus diversifiés de la planète, intéressent un demi-milliard d'êtres humains. Mais, ils sont très sensibles au changement climatique, l'acidification de l'océan (AO) et l'augmentation de la température (AT) ayant été identifiées comme les menaces les plus importantes pour ces écosystèmes. Avec les prévisions de températures et de pH établies pour 2100 par le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), les cyanobactéries apparaîtraient comme les gagnants du changement climatique et les coraux comme les perdants. Les cyanobactéries sont responsables des transitions d'un recouvrement corallien vers une dominance algale. Il est donc essentiel de comprendre les effets des changements globaux sur ces producteurs primaires.

Le projet vise à étudier l'impact de l'AO et de l'AT sur deux écosystèmes modèles constitués de cyanobactéries, de mollusques herbivores et de prédateurs carnivores. Il était initialement structuré en quatre objectifs :

Objectif 1 : Tester la séquestration du CO₂ par les deux cyanobactéries et évaluer l'impact de l'AT sur cette séquestration ;

Objectif 2 : Déterminer comment l'AO et l'AT affectent le comportement des différents partenaires et les interactions entre espèces ;

Objectif 3 : Evaluer l'impact de l'AO et de l'AT sur la médiation chimique (attraction/ répulsion) dans cet écosystème ;

Objectif 4 : Mesurer le potentiel d'acclimatation de deux écosystèmes récifaux confrontés à l'AO et à l'AT.

Le 1^{er} objectif a été abandonné dû à des problèmes techniques, un autre en lien avec l'objectif général a été ajouté :

Objectif 5 : Déterminer l'impact de l'AO et de l'AT sur l'interaction corail / cyanobactérie.

Méthode(s) mise(s) en œuvre ou approche(s) utilisée(s)

Les méthodes mises en place sont :

1. Expérimentations en aquarium au Criobe à Moorea avec un suivi de la prédation, survie, croissance et reproduction pour comprendre comment l'AO et l'AT affectent les réseaux trophiques. Expérimentations réalisées selon quatre traitements :
 - pH_{8,1} / T_{28°C} ;
 - pH_{7,85} / T_{28°C} ;
 - pH_{8,1} / T_{31°C} ;
 - pH_{7,85} / T_{31°C}.
2. analyses chimiques afin de suivre l'évolution des métabolites synthétisés par les cyanobactéries et séquestrés par les prédateurs spécialistes selon les assemblages et les conditions expérimentales. Les analyses sont effectuées en LC-HRMS sur la plateforme Bio2Mar (Perpignan) et permettront de comprendre les mécanismes biochimiques mis en place par les partenaires en conditions de stress.
3. expériences d'élevage des prédateurs primaires en aquarium à Moorea en conditions d'AO et d'AT avec un suivi du développement embryonnaire, des mesures physiologiques et du métabolisme des larves afin d'évaluer leur potentiel d'acclimatation.
4. expérimentations en aquarium au Criobe avec un suivi de la performance photosynthétique (par fluorimétrie par modulation d'impulsions en amplitude, PAM), blanchissement, survie et croissance des coraux et cyanobactéries pour comprendre comment l'AO et l'AT affectent l'interaction corail/cyanobactérie. Des tests allélochimiques sont réalisés en aquarium pour évaluer l'impact des métabolites de cyanobactéries sur le corail. Un suivi des métabolites produits par le corail et les cyanobactéries selon les assemblages et les conditions expérimentales sera effectué par LC-HRMS.

Principal(aux) résultat(s) ou conclusion(s) obtenu(s)

Objectif 2 : Déterminer comment l'AO et l'AT affectent le comportement des différents partenaires et les interactions entre espèces.

Seule l'AT stimule la croissance des cyanobactéries (Annexe 1 : Fig. 1). La survie des herbivores diminue dans toutes les situations de perturbation et les deux perturbations peuvent avoir un effet synergique (Annexe 1 : Figs. 2-3). De même la survie des prédateurs carnivores diminue dans toutes les situations (Annexe 1 : Fig. 4) avec un effet synergique. Toutes les perturbations diminuent la reproduction des herbivores (Annexe 1 : Fig. 6-7), la température impacte particulièrement la reproduction des carnivores (Annexe 1 : Fig. 8).

Objectif 3 : Evaluer l'impact de l'AO et de l'AT sur la médiation chimique (attraction/répulsion) dans cet écosystème.

L'AO et l'AT entraînent une surexpression des métabolites produits par les cyanobactéries (Annexe 2 : Fig. 1). Par contre les empreintes chimiques semblent être similaires quelques soient les conditions expérimentales (Annexe 2 : Fig. 2). Des études statistiques plus poussées sont nécessaires pour déterminer la nature des métabolites surexprimés en condition de stress (Annexe 2 : Fig. 3).

Objectif 4 : Mesurer le potentiel d'acclimatation de deux écosystèmes récifaux confrontés à l'AO et à l'AT.

Les herbivores soumis à un seul stress ont montré une capacité réduite à trouver leur nourriture (Annexe 3 : Fig. 1a) et à se déplacer, l'effet combiné des deux stress accentuant le phénomène (Annexe 3 : Fig. 2). Le processus de prise de décision, le succès dans la recherche de nourriture (réduit de 40 %) (Annexe 3 : Fig. 2b), l'évitement et la réponse aux prédateurs des herbivores ont également été affectés. L'effet combiné du pH et de la température a eu un effet synergique sur le taux métabolique de base des carnivores (Annexe 3 : Figs. 1,3).

En général, les herbivores qui ont subi les conditions de l'AO et de l'AT pendant leur développement ont été moins impactés par les stress pendant le stade adulte ; il semble donc qu'il y ait une acclimatation développementale.

Objectif 5 : Déterminer l'impact de l'AO et de l'AT sur l'interaction corail/cyanobactérie.

La température est le facteur le plus important pour la survie du corail (Annexe 4 : Fig. 1a). La présence de la cyanobactérie diminue l'impact de l'AO sur le blanchissement et aide à la survie du corail (Annexe 4 : Fig. 1b). Bien que les cyanobactéries synthétisent des molécules néfastes pour le corail (Annexe 4 : Fig. 2), leur présence est bénéfique pour le corail. La cyanobactérie, *via* ses métabolites secondaires, a un impact négatif sur le corail, mais son potentiel photosynthétique qui diminue le taux de CO₂ localement autour du corail, diminuerait l'impact de l'AO sur le corail. Par contre cet effet est seulement à court-terme.

Echéances :

Objectif 2 : Nous devrions finir les expériences de cet objectif à la fin du mois de juillet 2019.

Objectif 3 : Nous devrions finir les analyses de cet objectif fin 2019/mi 2020.

Objectif 4 : Une publication a été soumise à *Scientific Reports* en mars 2019. Nous devrions atteindre la fin des analyses transcriptomiques en 2020.

Objectif 5 : Nous devrions compléter les analyses de cet objectif avant fin 2019.

Atteintes des objectifs et difficultés rencontrées

Toutes nos expériences ont été réalisées sur l'écosystème basé sur la cyanobactérie *Lyngbya majuscula*. Par contre, nous n'avons pas pu étudier le deuxième écosystème basé sur la cyanobactérie *Anabaena torulosa*, à cause de sa mortalité rapide (en 24hrs) en aquarium. La comparaison des impacts des perturbations sur les deux écosystèmes dans l'objectif 5 a pu néanmoins être réalisée à partir d'extraits organiques de *A. torulosa*.

- Le caractère totalement imprévisible de l'émergence des blooms de cyanobactéries dans le lagon de Moorea et la difficulté à maintenir ces producteurs primaires en aquarium nous ont obligés à renoncer au 1^{er} objectif « Tester la séquestration du CO₂ par les deux cyanobactéries et évaluer l'impact de l'AT sur cette séquestration ».
- Le 2^{ème} objectif était de déterminer « comment l'AO et l'AT affectent le comportement des différents partenaires et les interactions entre espèces ». Cet objectif n'a pas dévié de l'objectif initial. Nous avons pu recruter un post-doc, Jennifer Pistevos, trois étudiantes en Masters 2 et une étudiante en Bachelors qui ont travaillé sur ce projet. Les résultats obtenus en 2018 étant prometteurs nous avons poursuivi en 2019.
- Le 3^{ème} objectif de ce projet proposait d' « évaluer l'impact de l'AO et de l'AT sur la médiation chimique (attraction/répulsion) dans cet écosystème ». Cet objectif n'a pas dévié de l'objectif initial. Il a été commencé en octobre 2018 quand notre post-doc, Jennifer Pistevos, a rejoint l'équipe des chimistes (Bernard Banaigs & Isabelle Bonnard) sur la Plateforme Bio2Mar à Perpignan pour analyser les échantillons récoltés lors des expériences effectuées à Moorea. Les analyses continuent à Perpignan et devraient être finies fin 2019.
- Le 4^{ème} objectif « Mesurer le potentiel d'acclimatation de deux écosystèmes récifaux confrontés à l'AO et à l'AT » a dévié de l'objectif initial à cause de l'échec de l'élevage des herbivores (impossibilité de finir leur cycle de vie et donc d'effectuer les expériences sur l'acclimatation transgénérationnelle). Mais nous avons pu réaliser des expériences sur l'acclimatation développementale. Le post-doc que nous avons pu recruter, Rael Horwitz, conjointement avec un post-doc de l'Université de Glasgow, UK, Tommy Norin, de visite au Criobe à Moorea, ont mis en place deux expériences pour répondre à cette question et une publication est en *review* dans *Scientific Reports*. Les analyses transcriptomiques sont prévues début septembre 2019 et devraient s'achever courant 2020.
- Un 5^{ème} objectif s'est rajouté aux objectifs précédents. En plus des expériences qui faisaient d'ores et déjà partie des 3 objectifs précédents, nous avons constaté sur le terrain que la cyanobactérie, qui est le producteur primaire de la chaîne trophique que nous étudions, colonisait de plus en plus le corail. Etant donné le caractère très dommageable de cette colonisation pour le récif corallien, nous ne voulions pas perdre de temps et nous avons tout de suite entrepris d'étudier l'impact de l'acidification et de la température sur la compétition cyanobactérie/corail. La post-doctorante recrutée, Jennifer Pistevos, et une étudiante en Master 2 ont travaillé sur cet objectif. Les résultats très intéressants que nous avons déjà obtenus soulèvent des questions nouvelles et nous avons planifié un certain nombre d'expériences complémentaires.

Impact(s) pour les sciences et la société et valorisations effectuées auprès de la communauté scientifique et des parties prenantes

La plupart des études expérimentales sur l'AO et l'AT ont été réalisées sur des espèces isolées et nous ne savons pas comment ces études peuvent être transposées vers un écosystème dans lequel des communautés d'espèces différentes interagissent.

Nos résultats suggèrent que si l'AO et l'AT continuent, la pression d'herbivorie exercée par les herbivores sur les cyanobactéries sera moindre, leur capacité dans la recherche de nourriture, leur vulnérabilité face aux prédateurs, et la diminution de leur potentiel de reproduction étant affectées.

Rappelons que les blooms de cyanobactéries sont de plus en plus fréquents, sont responsables des transitions d'un recouvrement corallien vers une dominance algale (coral-algal phase shift) et sont souvent capables d'émettre des toxines avec des conséquences écologiques et sanitaires graves.

De plus dans l'interaction corail-cyanobactérie l'AT va favoriser le développement des cyanobactéries et fragiliser le développement du corail, ce dernier supportant mal des températures élevées ; le « coral-algal phase shift » a déjà commencé et il est peu probable que ce phénomène de transition écologique s'arrête. Il sera plutôt aggravé par l'effet cumulé de l'AO et de l'AT.

Nos résultats sur les effets de l'AO et de l'AT sur les mollusques herbivores, acteurs clés d'une cascade trophique linéaire, apportent des informations importantes dans la compréhension du fonctionnement et de la structuration d'un écosystème corallien sain, et dans la transition de phase écosystème corallien – écosystème algal.

Les mesures de protection des récifs coralliens portent principalement sur les aires marines protégées et notamment sur l'encadrement de l'activité de pêche (interdictions), pour protéger certaines espèces clés, mais il n'y a aucune réflexion sur la prise en compte des risques de prolifération des producteurs primaires qui sont nuisibles pour la population locale. Dans la mesure où l'AO et l'AT diminuent les populations des herbivores, il est urgent de réfléchir à d'autres moyens de réguler les proliférations des producteurs primaires et de protéger les herbivores impliqués dans cette régulation.

Les valorisations passées et prévues :

Présentations orales :

Peptides non ribosomiques isolés de cyanobactéries marines ; des molécules d'intérêt pour l'écologie, le chimiste et le pharmacologue. **Banaigs B.**, Bornancin L., Bonnard I., Mills S. Institut de Chimie des Substances Naturelles (ICSN), Gif sur Yvette, France 9 novembre 2017.

Non-ribosomal peptides from marine cyanobacteria: from structure to ecological function. **Banaigs B.**, Bornancin L., Bonnard I., Mills S. Applied Natural Products, Palaiseau, France, 11-13 juin 2018.

Non-ribosomal peptides from marine cyanobacteria: from structure to ecological function. **Banaigs B.**, Bornancin L., Bonnard I., Mills S. 5ème Journées du GDR MediaTech, Rennes, France, 26-27 octobre 2018.

*ECOSYSTEM project: Effects of ocean acidification and temperature increase on a trophic cascade based on the cyanobacteria *Lyngbya majuscula*.* **Salvaneschi L.**, Mills SC., Pistevos J., Bonnard I., Banaigs B., Bornancin L. Criobe, Moorea, French Polynesia, 9 février 2018.

What is the impact of ocean acidification and temperature increase on the cyanobacteria-coral interactions? **Derrien M.**, Mills SC., Pistevos J., Bonnard I., Banaigs B., Bornancin L., Nugues M., Rodolfo-Metalpa R., Horwitz R. Criobe, Moorea, French Polynesia, 9 février 2018.

Publication de vulgarisation :

« *Le réchauffement climatique et ses conséquences sur le corail* » La Dépêche des îles, 14 février 2018.

Journée de Portes Ouvertes aux Lycées de Moorea : Criobe, Moorea, French Polynesia, 15 mars 2018.