

Effet des changement globaux sur le microbiome associé aux coraux d'eau froide du Canyon de Lampaul

Contexte

Comme leurs analogues tropicaux, les coraux coloniaux d'eau froide sont des espèces ingénieuses qui créent des habitats complexes en fixant le dioxyde de carbone dans leur squelette de carbonate de calcium. Ces écosystèmes, parmi les plus riches en biodiversité des grands fonds marins¹, fournissent des zones de reproduction et d'alimentation pour un certain nombre d'espèces et sont également des indicateurs paléoclimatiques et des puits de séquestration du carbone². Bien que vivant dans des eaux plus profondes que les coraux tropicaux (de 39 m à plus de 3000 m de profondeur), les coraux d'eau froide sont déjà confrontés aux impacts du chalutage et de la pollution terrigène et devront également rapidement faire face aux menaces cumulées du réchauffement et de l'acidification des océans³.

Contrairement à leurs homologues tropicaux, les coraux d'eaux froides sont dépourvus de symbiontes photosynthétiques. Ils commencent néanmoins à être également considérés comme des "holobiontes coralliens". Des associations avec des bactéries ont été récemment mises en évidence⁴, qui se sont révélées spécifiques aux coraux (voire aux espèces)^{5,6}. Bien que les interactions précises n'aient pas encore été décrites, des expériences de marquage isotopique ont démontré que les bactéries associées au corail *Desmophylum pertusum* fixent l'azote et le carbone inorganiques, qui pourraient être incorporés dans les tissus de l'hôte⁷ et participer à la construction du squelette.

Au cours des dernières décennies, des efforts croissants ont été consacrés à l'étude de ces coraux d'eaux froides (reproduction⁸, croissance⁹, tolérance thermique¹⁰), ainsi qu'au microbiome corallien qui leur est associé¹¹⁻¹³. Cependant, en raison de la difficulté d'échantillonnage en eaux profondes, une connaissance détaillée de leur écologie et de leur physiologie fait toujours défaut par rapport à leurs homologues tropicaux. Notamment si la diversité bactérienne associée à ces coraux a été étudiée en conditions naturelles, la localisation des bactéries dans les tissus des polypes (mucus, tentacules, mésentères, mais aussi squelette) et leurs interactions avec leur hôte corallien restent très mal connues.

Objectifs scientifiques

La thèse proposée s'inscrit dans le cadre du projet ANR ARDECO (Assessing Resilience of DEep COrals), auxquelles les deux équipes encadrantes participent. Le projet général vise à évaluer la résilience de 3 espèces de coraux profonds (*Madrepora oculata*, *Desmophylum pertusum* et *Solenosmilia variabilis*) présents dans le canyon de Lampaul entre 800 et 2000 mètres de profondeur. L'impact des changements globaux (réchauffement et acidification) sera évalué en termes de nutrition, croissance, reproduction, comportement et microbiome associé. La thèse sera focalisée sur le microbiome et son rôle dans la physiologie de l'hôte.

Plusieurs aspects seront abordés :

- Aspect descriptif : localisation et la quantification des bactéries dans les différents tissus (mucus, tentacules, mésentères et squelette) de l'hôte chez les populations naturelles et après expérimentations par des approches de biologie moléculaire, d'hybridation in situ en fluorescence et de microscopie électronique.
- Aspect fonctionnel : étude des interactions entre le polype et ses bactéries grâce à des incubations (aux température et pression natives) avec des composés marqués (¹⁵N et ¹³C) afin de suivre l'incorporation de ces molécules par les bactéries et un éventuel transfert aux tissus du polype, mais aussi à son squelette, grâce à la technique du NanoSIMS. Ces incubations ont déjà été réalisées et les échantillons prêts à être analysés. La recherche des gènes fonctionnels bactériens, indicateurs de leur métabolisme sera aussi réalisée.
- Aspect expérimental : des aquariums pressurisés spécialement dédiés à la maintenance des coraux profonds sur le long terme ont été développés pour ce projet. L'hypothèse de changement global prévoit une augmentation de la température et une diminution du pH,

dont les effets sur le métabolisme des coraux pourraient se cumuler, impactant notamment la croissance du squelette et le microbiome associé. Pour tester cette hypothèse, des maintenances de coraux sur 6 mois seront réalisées, en parallèle d'expériences témoins, pour lesquelles la température sera augmentée de 2°C et le pH réduit de 0,3 unité, conformément aux prédictions RCP8.5 du GIEC pour 2100 dans l'Atlantique NE profond. Des prélèvements de polypes au cours des 6 mois d'expérimentation permettront d'étudier l'impact des différents facteurs sur la croissance du squelette et la diversité du microbiome.

Justification de l'approche scientifique

Si des études d'impact du réchauffement global ou de l'acidification de l'océan ont déjà pu être menées sur des espèces de coraux profonds, elles l'ont toujours été à pression atmosphérique, et sur des coraux provenant de sites entre 50 et 700 m de profondeur (canyons de Méditerranée, fjords norvégiens, golf de Mexico). Nos sites d'intérêt dans le canyon de Lampaul sont situés au-delà de 800 m de profondeur et jusqu'à 2000 m, où l'influence de la pression est plus importante. Le taux de dissolution du carbonate de calcium augmentant avec la pression hydrostatique, ce facteur a un impact direct sur la physiologie des coraux et leur capacité à former leur squelette. L'augmentation de la pression hydrostatique influence également un certain nombre de processus biologiques, de l'expression des gènes aux taux métaboliques et à la reproduction.

L'originalité de ce projet est d'étudier ces paramètres à la pression native des coraux, grâce à des aquariums pressurisés permettant une maintenance à long terme (avec système de courant et sas de nourriture). Ces aquariums pressurisés nécessaires aux expérimentations long terme (6 mois) en conditions contrôlées (T°, pH) ont été mis en service à l'aquarium Océanopolis de Brest et les premières maintenances de coraux à pression et température natives ont été réalisées ces 6 derniers mois et ont montré la faisabilité du projet. Des échantillons sont déjà disponibles pour les aspects descriptifs et fonctionnels. Des campagnes d'échantillonnage sont également assurées pour les 3 ans à venir et permettront d'autres expériences d'incubations si besoin.

Adéquation à l'Institut ou l'Initiative

Le projet de thèse s'inscrit dans l'axe fédérateur « Changements globaux, risques et adaptations » de l'Institut de l'Océan. Les changements de température et de pH annoncés dans l'océan impacteront non seulement la physiologie des coraux mais aussi leur aire de répartition. Le réchauffement des océans poussera les coraux profonds vers les eaux plus profondes et plus froides, tandis que l'acidification déplacera leur distribution vers les eaux moins profondes et riches en carbonates, réduisant ainsi leur niche écologique. Cette thèse bénéficiera des plans expérimentaux innovants pour étudier les mécanismes d'adaptation des coraux profonds à ces paramètres, en tenant compte du rôle du microbiome, dans la physiologie des polypes et la biominéralisation de leur squelette. Les résultats attendus contribueront à prévoir la dynamique de ces espèces dans une zone Natura 2000 de l'Atlantique Nord-Est.

Encadrement

Franck Lartaud et le laboratoire du LECOB travaillent de longue date sur la physiologie (croissance notamment) et la microbiologie des coraux profonds de Méditerranée (les analyses de biologie moléculaire sur le microbiome seront encadrées par Pierre Galant à Banyuls). Leurs travaux ont déjà mené à de nombreuses publications sur le sujet (en gras dans la liste ci-dessous). Magali Zbinden étudie les symbioses chimiosynthétiques depuis 20 ans et le transfert de carbone hôte-symbiontes. Elle possède une expertise pour toutes les approches de microscopie et son équipe possède également une expertise en ingénierie mécanique et a conçu de nombreux équipements pressurisés pour collecter et maintenir en vie la faune des grands fonds au laboratoire, y compris le premier aquarium de maintien en pression à long terme, à l'aquarium public Oceanopolis de Brest.

Références bibliographiques

1. Rogers. 1999. International Review of Hydrobiology 84:315-406
2. Foley et al. 2010. Ocean & Coastal Management 53:313-326
3. Roberts et al. 2016. Science 312 : 543-547
4. Neulinger et al. 2008. Applied and Environmental Microbiology 75 : 1437-1444
5. **Meistertzheim et al. 2016. Deep-sea Research I 114 : 12-22**
6. Kellog et al. 2017. Frontiers in Microbiology 8 : 796
7. Middleburg et al. 2015. Scientific reports 5 : 17962
8. **Chemel et al. 2023. Deep-sea Research I 195: 103984**
9. **Lartaud et al. 2017. Deep-sea Research I 121 : 70-78**
10. **Chapron et al. 2020. Frontiers in Microbiology 11 : 275**
11. **Galand et al. 2018. Frontiers in Microbiology 9 : 2565**
12. **Galand et al. 2020. Environmental Microbiology 22 : 354-368**
13. **Chapron et al. 2021. Proceedings of the Royal Society B, 288(1965), 20212117**