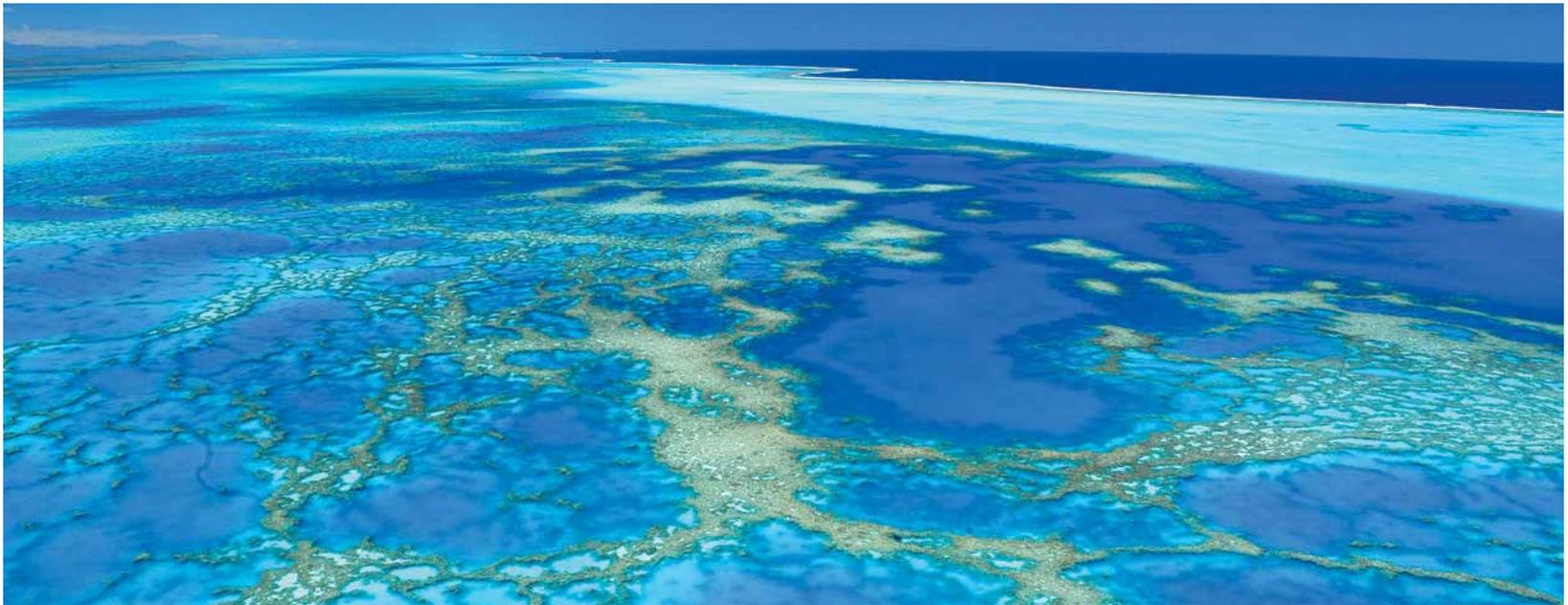


Des super-coraux en Nouvelle-Calédonie résistent au changement climatique

Riccardo Rodolfo-Metalpa, Fanny Houllbrèque et Claude E. Payri



Lagon réticulé, Nessadiou. © province Sud/M. Dosdane

Les récifs coralliens sous la menace du changement climatique

Les récifs coralliens sont déjà, à l'heure actuelle, largement impactés par les changements climatiques (GATTUSO *et al.*, 2015). Depuis la révolution industrielle, les niveaux de CO₂ atmosphériques ont quasiment doublé, entraînant un réchauffement global et une acidification des océans. Les effets des changements climatiques sur les organismes des récifs coralliens ont fait l'objet de nombreux travaux au cours des dernières décennies, travaux qui ont été essentiellement menés en aquarium.

Les espèces calcifiantes, telles que les coraux constructeurs de récifs, qui hébergent une grande partie de la biodiversité des océans mondiaux, seront vraisemblablement parmi les plus affectées par l'acidification des océans car leurs taux de calcification et de dissolution semblent être liés à la chimie des carbonates dans les océans (encadré 19). Plusieurs études montrent ainsi un déclin des taux de calcification des coraux lors d'une diminution du pH de l'eau de mer et parallèlement une augmentation des taux de dissolution des squelettes de carbonate. Le réchauffement des océans représente également une menace majeure pour la vie marine et les récifs coralliens en ont déjà largement souffert au cours des dernières décennies. Des températures de surface supérieures de seulement 1 °C par rapport

aux maximales de température pendant la saison estivale, et ce pendant au moins deux à trois jours entraînent une perte de leurs algues symbiotiques pour les coraux (phénomène appelé blanchissement des coraux, chap. 25). Plusieurs études indiquent que la plupart des coraux sont capables de se remettre du blanchissement si les anomalies de température persistent moins d'un mois, mais le stress engendré par ces températures élevées peut entraîner des dommages irréversibles au niveau du métabolisme des coraux.

Des mortalités massives de coraux, suite à des épisodes de blanchissement, ont été rapportées partout dans le monde en 1998 et 2016. Bien que la majorité des études ait mis en évidence une diminution des taux de calcification des coraux avec la réduction du pH de l'eau des océans, et des mortalités massives suite au blanchissement lié aux températures plus élevées ; il semble que certains coraux soient au contraire capables de s'acclimater au réchauffement et à l'acidification des océans. Ces résultats apparemment divergents reflètent la difficulté à reproduire en laboratoire de façon adéquate et consistante des interactions environnementales et écologiques complexes. En dépit des efforts colossaux déployés par la communauté scientifique au cours des 15-20 dernières années pour comprendre l'impact de ces changements globaux sur les récifs coralliens et pour prédire de façon plus précise comment ces écosystèmes vont être modifiés dans le futur, la plupart des conclusions concernant les impacts des changements climatiques sur les coraux ainsi que les extrapolations à l'échelle de l'écosystème se basent sur des expériences menées à court terme en laboratoire sur des individus isolés, exposés à des conditions artificielles.

Ces expériences sont bien sûr informatives, car elles nous permettent d'identifier les effets d'un ou plusieurs paramètres de façon isolée, mais ces expériences sont incapables de prendre en compte la capacité d'acclimatation (et d'adaptation) des espèces dans un environnement naturel. Elles ne sont pas réalistes au niveau écologique car elles ne prennent pas en compte les effets des interactions entre espèces, les apports naturels en nourriture ainsi que les fluctuations des principaux paramètres environnementaux. De plus, la quasi-totalité de ces études ont négligé le rôle de l'adaptation puisqu'elles ont testé seulement les réponses aux changements globaux à l'intérieur d'une même génération d'individus et pendant des expositions très courtes au stress.

En outre, en parallèle de l'acidification des océans et du réchauffement, le taux de saturation en oxygène de l'eau de mer diminue, en raison de plus fortes températures et de l'eutrophisation des côtes, avec des conséquences méconnues, mais probablement négatives sur les organismes. La désoxygénation, désormais associée à l'acidification des océans et au réchauffement, forme « le trio mortel », qui pourrait affecter de manière irréversible les océans d'ici 2100.

Dans le but de mieux prédire le devenir des organismes marins face au changement climatique, il est temps de changer d'échelle et de s'intéresser aux effets au niveau de l'écosystème dans son ensemble. Pour réaliser cela, il est nécessaire de trouver des récifs coralliens qui sont déjà exposés aux conditions environnementales prévues d'ici la fin de ce siècle. On pourrait penser que cela est impossible mais il existe pourtant plusieurs exemples dans la nature : certains de ces endroits sont loin de nous, en Papouasie Nouvelle-Guinée, d'autres sont bien plus proches et se trouvent en Nouvelle-Calédonie !

Prédire le futur des récifs coralliens grâce à l'étude des milieux extrêmes

Les populations de coraux vivants actuellement en marge de leur environnement optimal et s'acclimatant à des conditions environnementales extrêmes sont devenues des modèles pour prédire la structure et le fonctionnement futurs des récifs coralliens. Les systèmes naturels tels que les résurgences sous-marines de CO₂ (HALL-SPENCER *et al.*, 2008, FABRICIUS *et al.*, 2011) offrent des opportunités uniques pour étudier le devenir des communautés coralliennes face au changement global. Jusqu'à présent, aucun système naturel parfait n'a été découvert, mais les données provenant de tels systèmes sont d'une pertinence fondamentale au plan écologique car ils apportent un scénario réaliste et naturel. Par exemple, au niveau des sites de résurgence de CO₂ en Papouasie Nouvelle-Guinée, le pH varie dans le temps, selon les conditions environnementales (par exemple des changements dans les courants dominants et les conditions atmosphériques) et son effet est habituellement limité dans l'espace (représentant une centaine de mètres carrés de récifs). De plus, seul l'effet de l'acidification des

océans peut être observé jusqu'à présent car seules des résurgences « froides » de CO_2 ont été découvertes et il est clair que le réchauffement sera probablement le facteur le plus influent dans le futur. L'IRD a commencé un programme de recherche sur le long terme utilisant des coraux vivants sur trois sites volcaniques de Papouasie Nouvelle-Guinée (projet Carioca). Une série d'analyses physiologiques et moléculaires, des transplantations coralliennes et des expériences multigénérationnelles ont permis de faire des prédictions plus fiables sur les réponses à l'échelle de l'organisme et des écosystèmes.

En février 2016, dans le contexte d'une collaboration entre l'IRD et l'université de Technologie de Sydney (Australie), les premiers travaux de terrain ont été menés sur un site exceptionnel situé à Bouraké, à 150 km de Nouméa (CAMP *et al.*, 2017). Sur ce site, l'eau du lagon rentre dans la mangrove avec la marée montante, circule à l'intérieur du système pour sortir à marée descendante. La profondeur du système varie de quelques centimètres à plus de 6 m. Le chenal, large de plus de 80 m, pénètre à l'intérieur de la mangrove en formant de larges piscines sur une surface totale de plus de 60 000 m². Les premières mesures de variations du pH (fig. 1) au cours d'un cycle de 24 h ont montré la réelle valeur de ce site unique pour étudier la capacité des coraux à s'acclimater et à s'adapter aux conditions



Site d'étude de Bouraké montrant le chenal principal permettant l'entrée de l'eau de mer du lagon, à l'intérieur de la mangrove. © IRD/J.-M. Boré

extrêmes. À chaque marée haute, de l'eau nouvelle du lagon entre par le chenal dans le large bassin interne à l'intérieur des mangroves. Pendant ce trajet, cette eau se mélange avec de l'eau de mer plus acide, chaude et désoxygénée. Ainsi même à marée haute, l'eau dans le système ne retourne jamais à des valeurs « normales ». Par exemple, les valeurs maximales de pH mesurées se situent autour de 7,9 (le pH normal de l'océan est actuellement de 8,05 alors qu'il est prévu qu'il diminue jusqu'à 7,7-7,8 en 2100). À marée basse, l'eau de mer devient plus acide et appauvrie en oxygène car le système commence à se vidanger et les larges volumes d'eau qui étaient à l'intérieur de la forêt de mangrove arrivent dans le système et sont ensuite évacués vers le lagon. À marée basse, le pH atteint la valeur extrême de 7,3 à proximité des coraux pour une concentration de 2 mg L⁻¹ en O₂ (la concentration normale d'O₂ le long des côtes est de 4-6 mg L⁻¹).

De plus, l'ensemble de ces paramètres montre des fluctuations, clairement détectables, au cours d'un cycle de 24 h, ce qui est extrêmement important pour évaluer la dose de stress reçue dans le temps par les coraux. Ceci rend ce site beaucoup plus intéressant que d'autres laboratoires naturels dans lesquels la durée et l'intensité du stress (par exemple les sites de résurgence volcanique) ne sont régulières ni dans le temps ni dans l'espace.

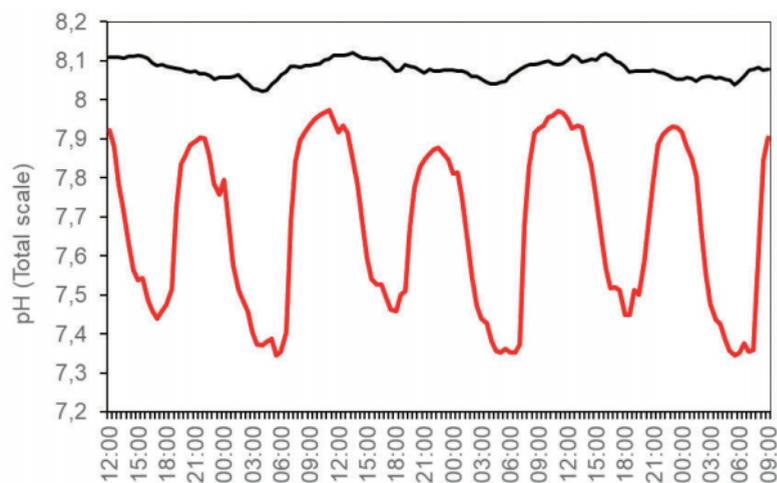


Figure 1 : Variations cycliques du pH sur le site d'étude (tracé rouge) et à l'extérieur, sur un site de contrôle (tracé noir). © IRD/R. Metalpa



Vue aérienne du récif frangeant de Bouraké. © IRD/J.-M. Boré

Selon la littérature, la persistance des coraux et des organismes calcifiants en général serait sérieusement compromise. Pourtant l'IRD a révélé à Bouraké, la présence de plus de 50 espèces différentes de coraux, formant des récifs très préservés, comparables aux autres récifs frangeants de Nouvelle-Calédonie.

Il est indéniable que ce site offre de nouvelles opportunités pour mieux comprendre le futur des récifs coralliens face au changement global. L'hypothèse principale, qui reste à vérifier, est que de nombreuses espèces marines, considérées par les études précédentes en laboratoire comme sensibles à l'acidification des océans, présentent en fait la capacité à s'acclimater, voire à s'adapter, aux conditions climatiques futures. L'élément central qui soutient cette hypothèse est la présence de nombreuses espèces de coraux dans ce système de mangrove, où les conditions de pH, de température et de pO_2 sont proches (ou au-delà) des valeurs prévues pour la fin du siècle.

Il s'agit de mieux comprendre quels sont les changements physiologiques utilisés par les coraux pour s'acclimater aux conditions extrêmes (plasticité phénotypique), ce qui constitue déjà une approche novatrice. Néanmoins, notre ambition est de vérifier si ces espèces, qui auront grandi dans ces conditions extrêmes, peuvent se reproduire et potentiellement s'adapter (par exemple avec une acclimatation transgénérationnelle).

Nous cherchons à comprendre comment les changements du métabolisme des coraux et de ses zooxanthelles permettent aux coraux de prospérer dans des milieux extrêmes. Les coraux vivent en association avec des zooxanthelles, mais également avec de nombreux microorganismes et on s'interroge également sur le rôle de ces microbes et des algues zooxanthelles dans la capacité des coraux à résister aux conditions extrêmes.

L'acidification des océans, une menace pour les coraux ?

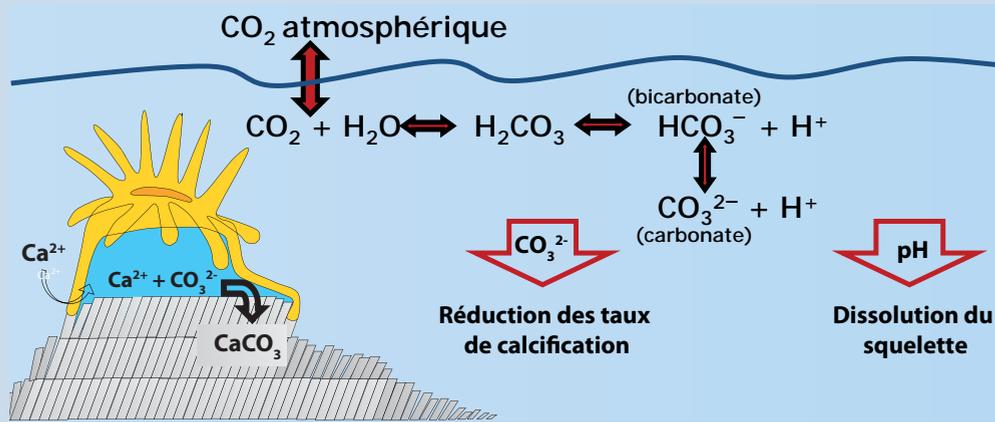


Schéma de la calcification et de la décalcification (dissolution) :
 Le gaz carbonique (CO_2) dissous réagit avec l'eau (H_2O) pour former de l'acide carbonique (H_2CO_3) : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
 L'acide carbonique se dissocie en ion bicarbonate :
 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
 L'ion bicarbonate se dissocie aussi en ion carbonate :
 $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$
 A savoir, dans l'eau les trois composés CO_2 , HCO_3^- , et CO_3^{2-} sont en proportions stables en fonction des conditions de pH.

Les océans seront-ils plus acides à l'avenir ?

L'acidification des océans est une histoire de chimie. Le gaz carbonique (CO_2) rejeté dans l'atmosphère par les activités de l'homme contribue au réchauffement climatique (effet de serre). À peu près 25 % de ce gaz carbonique est absorbé par les océans. Les océans contribuent donc à diminuer l'effet de serre. En contrepartie, ce gaz augmente l'acidité des océans. En effet, la dissolution du CO_2 dans l'eau de mer entraîne une augmentation de son acidité, ce qui correspond à une diminution du pH. Ceci entraîne une baisse de la quantité d'ions carbonates (CO_3^{2-}), qui sont l'une des briques nécessaires à certains organismes marins pour fabriquer leurs squelettes, leurs coquilles et autres structures calcaires.

Quels seront les impacts sur l'écosystème corallien ?

Avec des eaux plus acides, les animaux dotés de squelettes ou de coquilles calcaires comme les coraux auront des difficultés à fabriquer leurs structures calcaires car les briques (les ions carbonates) dont ils se servent seront moins abondantes. Les organismes devront dépenser plus d'énergie pour calcifier, et leurs squelettes et coquilles seront plus fragiles. Les réactions ne sont pas les mêmes selon les espèces et certaines semblent mieux résister à une diminution du pH. Les réponses varient en fonction du stade du cycle de vie, de la physiologie des espèces et de leur capacité à réguler le pH au niveau des cellules. L'acidification des océans pourra aussi faciliter la dissolution des récifs et les rendre plus fragiles face aux tempêtes et cyclones.

Références bibliographiques

CAMP E. *et al.*, 2017 Reef-building corals thrive within hot-acidified and deoxygenated waters. *Scientific Reports*. Doi : 10.1038/s41598-017-02383-y.
 FABRICIUS K.F. *et al.*, 2011 Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Climate Change*. Doi : 10.1038/NCLIMATE1122.

GATTUSO J.P. *et al.*, 2015 Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO_2 emissions scenarios. *Science*, 349 (6243) : aac4722-1.
 HALL-SPENCER J.M. *et al.*, 2008 Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454 : 96-99

Rodolfo-Metalpa Riccardo, Houlbrèque Fanny,
Payri Claude.

Des super-coraux en Nouvelle-Calédonie
résistent au changement climatique.

In : Payri Claude (ed.), Moatti Jean-Paul
(pref.). Nouvelle-Calédonie : archipel de
corail. Marseille (FRA), Nouméa : IRD, Solaris,
2018, p. 155-159.

ISBN 978-2-7099-2632-4