



Synthèse de l'article

Extreme environmental conditions reduce coral reef fish biodiversity and productivity

Septembre 2020

Référence

Brandl, S.J., Johansen, J.L., Casey, J.M. *et al.* Extreme environmental conditions reduce coral reef fish biodiversity and productivity. *Nat Commun* 11, 3832 (2020)

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17731-2>

Les conditions environnementales extrêmes réduisent la biodiversité et la productivité des poissons des récifs coralliens



© Tane Sinclair-Taylor / *Eviota guttata*

Pourquoi trouve-t-on certaines espèces dans un milieu donné alors que d'autres, qui leur ressemblent, en sont absentes ? Comment l'assemblage des espèces présentes affecte les dynamiques des processus écologiques de ce milieu ?

Ce sont à ces questions cruciales pour la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques qu'a souhaité répondre une équipe de chercheurs, dont les résultats ont été publiés dans *Nature communications* le 31 juillet 2020. Plus

précisément, leur étude s'est intéressée aux organismes tropicaux ectothermes¹ considérés comme vulnérables aux changements environnementaux. En effet, les effets de ces changements, notamment sur l'assemblage et le fonctionnement des communautés de poissons des récifs coralliens, sont aujourd'hui encore largement méconnus. L'équipe de recherche a donc étudié les différentes caractéristiques des poissons de récifs cryptobenthiques² vivant dans les récifs coralliens les plus chauds et extrêmes du monde situés dans le sud du golfe Persique et ceux voisins, mais un peu plus cléments, du golfe d'Oman. Malgré une composition benthique et une couverture corallienne comparables, cette étude révèle que le nombre d'espèces de poissons du golfe Persique est divisé par deux et le nombre d'individus de ce même golfe par quatre, par rapport à celui d'Oman. Cette importante différence semble être due à des carences énergétiques chez les poissons : la disponibilité des proies est différente dans les environnements extrêmes, les températures y sont plus élevées et affectent par exemple la disponibilité en oxygène dans l'eau, etc. Des conditions environnementales plus difficiles, telles qu'attendues pour la fin du 21^e siècle, pourraient donc fortement perturber la structure et la productivité des poissons de récifs coralliens indépendamment du déclin des récifs coralliens.

Introduction

La présence d'une espèce en un lieu donné résulte d'une interaction complexe entre plusieurs paramètres :

- les différentes caractéristiques des organismes (leur tolérance à la température, leur besoin en proies spécifiques, etc.) ;
- les conditions environnementales (température, salinité, oxygène dissous, etc.) ;
- les conditions biotiques, c'est-à-dire l'habitat ou la disponibilité de la nourriture ;
- l'histoire biogéographique³ ;
- et les événements stochastiques (extinction, dispersion, etc.).

Le fonctionnement des écosystèmes, incluant des services écosystémiques telle la productivité primaire, va dépendre du type et de la diversité des espèces présentes. En modifiant les conditions environnementales d'un milieu (*via* des facteurs de stress comme le changement climatique par exemple), les dynamiques des écosystèmes concernés se retrouvent perturbées. À l'échelle des organismes, la modification de certains facteurs comme la température affecte les processus physiologiques internes des espèces ectothermes (la consommation d'oxygène, etc.). Sans avoir systématiquement de conséquence létale, ceci peut entraîner une modification du taux d'énergie dépensé. Ces changements peuvent ensuite avoir des répercussions sur l'acquisition de ressources et la manière dont l'énergie résultante est allouée aux processus vitaux, à la croissance et à la reproduction ; phénomènes qui peuvent avoir des répercussions, à plus grande échelle, sur différents processus écologiques.

Les récifs coralliens constituent aujourd'hui l'écosystème marin le plus diversifié. Leur productivité fournit des services écosystémiques indispensables et vitaux

1 Les animaux **ectothermes** sont ceux qui ne produisent pas de chaleur interne (insectes, reptiles, poissons, etc.).

2 Les poissons **cryptobenthiques** sont ceux vivant cachés sur les fonds marins (du latin *crypto* : « se cacher » et *benthos* : fond, profondeur).

3 La **biogéographie** est une branche à la croisée des sciences dites naturelles, de la géographie physique, pédologie, l'écologie, de la bioclimatologie et de la biologie de l'évolution qui étudie la vie à la surface du globe par des analyses descriptives et explicatives de la répartition des êtres vivants, et plus particulièrement des communautés d'êtres vivants.

pour plus de 500 millions de personnes dans le monde. Les coraux scléactiniaires⁴, à la base des récifs tropicaux, sont très sensibles aux extrêmes thermiques, ce qui a conduit récemment à un déclin rapide des écosystèmes coralliens à l'échelle mondiale entraînant alors une diminution ou un changement de composition des populations de poissons exploitant ces récifs. Les poissons de récifs sont également vulnérables aux effets directs du changement climatique qui affecte notamment les températures de surface de la mer. Malgré des différences marquées dans les tolérances individuelles des espèces à des températures plus élevées, la plupart des espèces de poissons de récifs souffrent de problèmes physiologiques, de développement ou de comportement, mais non létaux, lorsqu'elles sont exposées à des températures en dehors de leur gamme de tolérance normale.

Dépassant rarement 5 cm, les poissons cryptobenthiques sont les plus petits poissons de récifs et représentent près de la moitié des espèces de poissons de récifs. Présents en abondance, ils sont omniprésents sur les récifs du monde entier. En raison de leur petite taille, ces poissons ont développé une stratégie de survie unique avec une croissance rapide, une mortalité élevée et un renouvellement continu des larves, jouant ainsi un rôle important dans la dynamique trophique des récifs coralliens. Du fait également de leur petite taille et d'un métabolisme élevé, les poissons cryptobenthiques sont particulièrement sensibles aux fluctuations de température. En raison de leur mobilité limitée, les changements environnementaux, même à petite échelle, provoquent des changements notables dans leur communauté. Toutefois, le renouvellement générationnel extrêmement élevé (jusqu'à 7,4 générations par an chez certaines espèces) et les soins parentaux peuvent permettre une adaptation transgénérationnelle aux conditions changeantes. Ces poissons sont ainsi des organismes modèles pour étudier l'impact des changements environnementaux sur les individus et les populations, et l'adaptation transgénérationnelle, afin d'en savoir plus sur la persistance des poissons des récifs coralliens dans les océans, en constante mutation.

Résultats

Contexte environnemental

Entre 2010 et 2018, les températures enregistrées sur les sites étudiés variaient entre 19,1 °C (golfe d'Oman en 2016) et 32,9°C (golfe Persique en 2014). D'autres appareils mesurant la température du substrat (4 à 6 m de profondeur) ont enregistré des températures estivales maximales de 36,0°C dans le golfe Persique et de 34,8°C dans le golfe d'Oman, et des températures hivernales minimales respectivement de 17,3°C et 21,5°C. De plus, les sites du golfe Persique ont enregistré des températures quotidiennes ayant dépassé 34°C plus de 60 jours par an, contre seulement 1 à 5 jours par an dans le golfe d'Oman. Ainsi, les températures maximales relevées sur les récifs situés le long de la côte du golfe Persique sont représentatives des températures attendues pour les écosystèmes coralliens tropicaux à la fin du siècle. Bien que les deux endroits diffèrent également en raison de plusieurs facteurs environnementaux (notamment la salinité, la productivité ou la géomorphologie des récifs), la température est généralement considérée comme le facteur le plus important impactant la vie dans le golfe Persique. Les coraux ont persisté dans cette région pendant environ 15 000 ans et le littoral moderne abrite des structures de récifs coralliens depuis environ 6 000 ans. Par conséquent, le golfe Persique représente un laboratoire naturel idéal pour étudier la capacité des organismes récifaux à faire face à des conditions environnementales extrêmes (en particulier la température). (Figure 1 a, b)

⁴ Les **scléactiniaires** ou coraux durs (ordre des *Scleractinia*) sont des coraux souvent sphériques ou en forme de buisson de cornes, nourvus d'un exosquelette dur fait de carbonate de calcium.

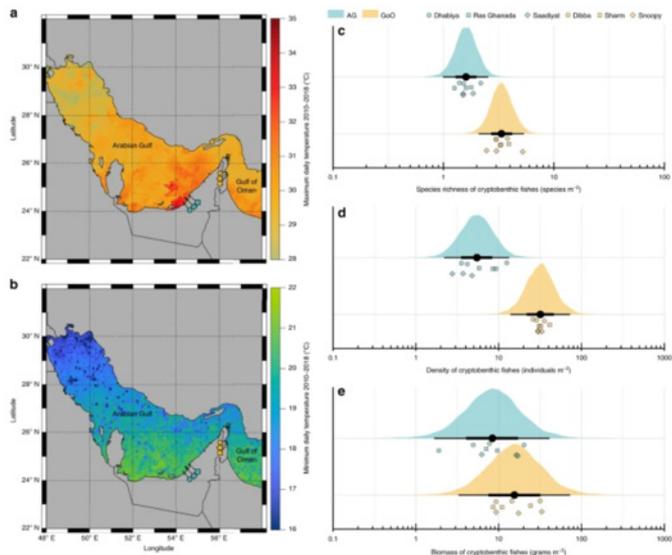


Figure 1 : Carte du système d'étude et de la structure des communautés de poissons du récif cryptobenthiques dans le golfe Persique (AG) et le golfe d'Oman (GoO). **a,b :** Estimations des températures quotidiennes maximales et minimales entre 2010 et 2018, avec indication des sites d'étude. **c-e :** Richesse des espèces, abondance et biomasse des communautés de poissons cryptobenthiques. Les courbes de densité et les diagrammes noirs (intervalles de confiance à 50 et 95 %) représentent les prévisions postérieures, tandis que les cercles, les carrés et les losanges représentent les valeurs brutes des sites respectifs à chaque endroit.

Assemblages de poissons cryptobenthiques

Les assemblages de poissons cryptobenthiques de récifs diffèrent nettement entre le golfe Persique et le golfe d'Oman. Les récifs du golfe Persique abritent moins de la moitié de la richesse et moins d'un quart de l'abondance des poissons cryptobenthiques par rapport au golfe d'Oman, mais les estimations de la biomasse sont néanmoins comparables (**Figure 1 c-e**). De même, la composition des communautés cryptobenthiques varie considérablement entre les deux endroits (**Figure 2 a**). Il y a 29 espèces de poissons au total dans le golfe Persique et 45 espèces dans le golfe d'Oman, 16 espèces étant partagées entre les deux endroits. Il est important de noter que, sur les 29 espèces présentes uniquement dans le golfe d'Oman, 89,7 % ont été observées au nord du golfe Persique, au Koweït et en Arabie Saoudite, où les conditions estivales sont beaucoup moins extrêmes (**Figure 1 a, b**). Malgré une différence des communautés de poissons cryptobenthiques entre les deux golfes, il n'y avait aucune différence notable au niveau de la couverture corallienne.

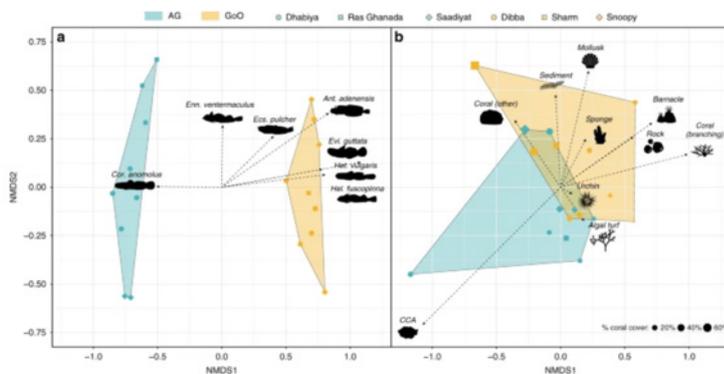


Figure 2 : Composition des communautés de poissons de récifs cryptobenthiques et des groupes fonctionnels/taxonomiques benthiques dans le golfe Persique (AG) et le golfe d'Oman (GoO). **a :** Diagramme de double projection sur les communautés de poissons cryptobenthiques, les flèches indiquent la position des sept espèces les plus importantes. **b :** Biplot des groupes fonctionnels benthiques, l'influence de tous les groupes étant indiquée par des flèches. Les polygones délimitent les emplacements et chaque point représente une station d'échantillonnage sur un site particulier, la taille du point étant mise à l'échelle par rapport à la proportion de corail vivant sur place. CCA algues coralliennes.

Tolérance de température

L'équipe de recherche s'est particulièrement intéressée à la tolérance des organismes étudiés à la température, en se demandant si cela pouvait expliquer pourquoi trois espèces abondantes dans le golfe d'Oman (*Helcogramma fuscopinna*, *Eviota guttata* et *Heteroleotris vulgaris*) sont absentes dans l'extrême sud-est du golfe Persique, malgré leur présence dans des zones moins chaudes du golfe. Elle a également examiné le potentiel de différences intra-spécifiques de tolérance thermique chez deux espèces dont les populations sont présentes dans les deux golfes (*Enneapterygius ventermaculus* et *Ecsenius pulcher*) et chez une espèce additionnelle mais avec peu de données dans le golfe d'Oman (*Coryogalops anomolus*).



Dans la colonne de gauche, trois espèces présentes dans le golfe Persique et dans le golfe d'Oman : *Enneapterygius ventermaculus*, *Coryogalops anomolus*, et *Ecsenius pulcher*; dans la colonne de droite, trois espèces présentes seulement dans le golfe d'Oman : *Eviota guttata*, *Helcogramma fuscopinna*, et *Heteroleotris vulgaris*.

Les limites critiques de tolérance thermique spécifiques à chaque espèce n'expliquent pas l'absence de trois espèces communes du golfe d'Oman dans le golfe Persique (**Figure 3**), et les limites critiques de tolérance thermique moyennes des six espèces étudiées, quelle que soit leur origine, égalent ou dépassent les températures estivales maximales généralement enregistrées dans le golfe Persique (36,0°C). *Helcogramma fuscopinna* (une espèce du golfe d'Oman) a eu la plus faible tolérance à la chaleur (36,0 ± 0,11°C), tandis que *C. anomolus* du golfe Persique a la plus grande tolérance à la chaleur (38,4 ± 0,06°C). Il n'y avait pas de différences de tolérance à la chaleur entre les populations d'*E. ventermaculus* entre les deux golfes (peut-être en raison du nombre limité de prélèvements provenant du golfe d'Oman), mais la population d'*E. pulcher* du golfe Persique présentait quant à elle une tolérance à la chaleur légèrement supérieure (0,6°C) à celle de ses homologues du golfe d'Oman (37,9 ± 0,05°C contre 37,3 ± 0,06°C), ce qui prouve que cette espèce présente une tolérance à la chaleur plus élevée. Malgré des différences considérables entre les différentes espèces, les limites de tolérance thermique prédites chez les espèces présentes uniquement sur le golfe d'Oman se trouvent dans les limites de tolérance thermique des espèces présentes dans le golfe Persique (**Figure 3 a**).

En termes de limite critique minimum, toutes les espèces, quelle que soit leur origine, ont toléré une température hivernale minimale de 17,3°C dans le golfe Persique. Parmi les individus échantillonnés de la population du golfe d'Oman, *E. pulcher* avait la plus grande tolérance au froid (11,3 ± 0,1°C), tandis que *E. ventermaculus* avait la plus faible tolérance (13,3 ± 0,1°C). La tolérance au froid d'*E. ventermaculus* dans le golfe Persique (12,3 ± 0,06°C) dépasse celle de son homologue du golfe d'Oman (13,3 ± 0,10 °C). Ceci vient appuyer une seconde fois l'hypothèse, et à partir d'une deuxième population, qu'il y a bien des différences de tolérances thermiques intraspécifiques entre les deux sites. De même que pour

les limites de tolérance à la chaleur, les tolérances moyennes au froid de toutes les espèces du golfe d'Oman se trouvent dans les limites de tolérance des espèces présentes dans le golfe Persique (**Figure 3 a**).

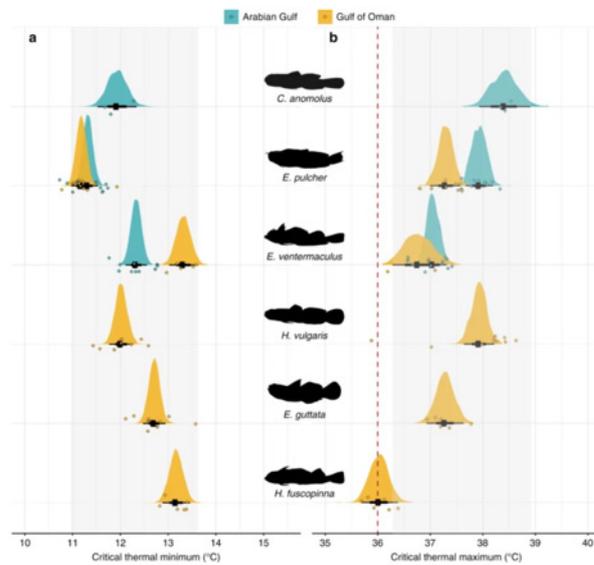


Figure 3 : Limites critiques de tolérance thermique des espèces de poissons cryptobenthiques du Golfe Arabo-Persique et du Golfe d'Oman. **a :** Limite critique thermique minimale et **b :** limite critique thermique maximale. La ligne rouge pointillée (36 °C) indique la température maximale enregistrée dans le golfe Arabo-Persique.

Ingestion de proies

Pour examiner plus en détail les facteurs potentiels influant sur la structure des communautés de poissons cryptobenthiques, l'équipe de chercheurs a quantifié l'ingestion de proies dans les deux endroits en analysant par métabarcoding le contenu digestif de 88 poissons appartenant à six espèces différentes (*C. anomolus*, *E. pulcher*, et *E. ventermaculus* - populations du Golfe Persique et du golfe d'Oman; *Antennablennius adenensis*, *E. guttata*, et *H. vulgaris* - présentes seulement dans le golfe d'Oman). Des représentations des réseaux alimentaires montrent des différences fortes entre les populations du golfe Persique et du golfe d'Oman (voir Figure 4 de l'article en ligne). À l'exception de *C. anomolus*, les espèces présentes dans les deux endroits ont montré de fortes différences alimentaires. De plus, les résultats ont montré que *E. pulcher*, une espèce prétendument herbivore, a ingéré la plus grande variété d'espèces de proies animales, suivie par *E. ventermaculus*. Dans l'ensemble, les populations d'*E. ventermaculus* du golfe d'Oman et de *C. anomolus* du golfe Persique ont ingéré la plus grande diversité de proies autotrophes (algues).

Conséquences énergétiques à l'échelle de l'organisme et de l'écosystème

L'étude a également examiné le potentiel énergétique des organismes et des écosystèmes entre les deux golfes. Pour ce faire, elle a estimé le cycle de la biomasse à l'échelle de la communauté de poissons en mesurant la taille et le poids de trois espèces de poissons présentes sur les deux golfes et en mesurant leur taux de mortalité. Les résultats montrent que les populations du golfe d'Oman ont un poids plus élevé par rapport aux poissons du golfe Persique et que la production de biomasse est aussi plus élevée dans le golfe d'Oman.

Discussion

Bien qu'ayant mis en évidence des preuves de plasticité thermique intraspécifique, les tolérances thermiques propres à chaque espèce ne sont pas le principal facteur de présence/absence des poissons cryptobenthiques dans le golfe Persique. Les résultats de cette étude suggèrent que ce sont des facteurs plus subtils, basés sur des tolérances thermiques différentes affectant la physiologie des poissons, et des disponibilités de proies distinctes dans les deux sites, qui façonnent les assemblages observés. Le déplacement des tolérances thermiques en réponse à l'augmentation des températures peut entraîner des coûts énergétiques substantiels comme mesurés chez les trois espèces de poissons examinées dans le golfe Persique. Le fardeau énergétique imposé par les changements de tolérance thermique peut être exacerbé par des ressources en proies différentes et une plus faible diversité de celles-ci. En effet, l'examen du contenu intestinal des poissons a révélé une gamme de proies différente et plus étroite pour les poissons du golfe Persique. Les résultats suggèrent ainsi que des changements de tolérances thermiques en réponse aux extrêmes environnementaux, et les coûts énergétiques engendrés, ne sont peut-être pas une stratégie viable pour les petits organismes ectothermes tropicaux si les environnements sont limités en ressources, que ce soit en qualité ou en quantité.

Pour ces poissons dont les demandes énergétiques sont déjà élevées, la possible augmentation future des coûts énergétiques représente probablement un défi majeur. Outre les différences de composition et de diversité des proies dues à l'environnement, cette «double menace énergétique» peut représenter un obstacle insurmontable pour de nombreuses espèces cryptobenthiques. Une nouvelle diminution de la taille corporelle (une réponse physiologique universelle à des températures plus chaudes) pourrait tout simplement être impossible pour de nombreux poissons de récifs cryptobenthiques qui ont déjà atteint ou presque la taille corporelle minimale des vertébrés. Par conséquent, des conditions environnementales plus extrêmes, comme prévu dans le futur en raison du changement climatique, pourraient avoir de graves conséquences sur la performance de ces organismes, avec des conséquences à plus grande échelle sur la persistance de ces espèces.

Conclusion

Alors que des changements environnementaux rapides se font à une échelle globale, la compréhension des processus qui influent sur la structure des communautés locales et le fonctionnement des écosystèmes est primordiale. Les résultats de cette étude mettent en évidence les menaces imminentes pesant sur les poissons cryptobenthiques des récifs et leur rôle dans le fonctionnement des récifs coralliens. En effet, sous l'effet du changement climatique, la productivité des petits prédateurs, le transfert d'énergie et la biomasse au niveau des réseaux trophiques pourraient diminuer. À la lumière de l'importance supposée des prédateurs dans les réseaux trophiques et du rôle écologique unique des organismes cryptobenthiques dans la dynamique trophique des récifs coralliens, les effets de la température sur les assemblages de poissons cryptobenthiques pourraient considérablement altérer le fonctionnement des écosystèmes coralliens.



synthèse Marie-Claire Danner,
chargée de communication pour le Cesab et
responsable scientifique au sein de la TSU de
l'évaluation Ipbes sur l'usage durable des espèces
sauvages

relecture Hélène Soubelet,
directrice de la FRB

Jean-François Silvain,
président de la FRB

Elodie Milleret,
chargée de mission scientifique « Mers et Océans »
et « Indicateurs de biodiversité »

Claire Salomon,
directrice adjointe du Cesab et chargée de
développement stratégique « Mers et Océans »

Simon Brandl,
post-doctorant FRB-Cesab du projet Score-Reef