

Acidification des océans

Septembre 2016

commissariat général au développement durable

L'acidification des océans, un phénomène mondial qui s'amplifie

La 12^{ème} Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique qui s'est tenue en 2015 en Corée a rappelé les conclusions du 5^e rapport du GIEC (2013) : les océans se sont acidifiés par rapport à la période pré-industrielle (en surface, -0,1 de pH, soit +26 % en concentration d'ions carbonates) et cela risque d'augmenter de 170% d'ici 2100, entraînant de lourds impacts économiques, sociaux et écologiques (blanchissement des coraux, migration des espèces).

Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration atmosphérique de CO₂ a en effet cru de façon exponentielle. Une des conséquences les plus connues de cette augmentation est le réchauffement global causé par l'effet de serre, mais le CO₂ est également massivement dissout dans l'eau de mer sous forme d'acide carbonique, entraînant une baisse du pH de l'océan. Près de 30 % du dioxyde de carbone anthropique est ainsi absorbé par les eaux marines : le pH moyen de l'océan de surface a diminué de 0.1 unité pH depuis le début de la période industrielle (Rhein et al., 2013).

D'autres processus, accélérés par le réchauffement climatique, auraient également un impact direct et indirect sur les variations de pH océanique : l'intensification de résurgences d'eau profondes chargées en CO₂, les apports fluviaux, les dépôts atmosphériques et le phénomène d'eutrophisation (Gattuso & Hansson, 2011).

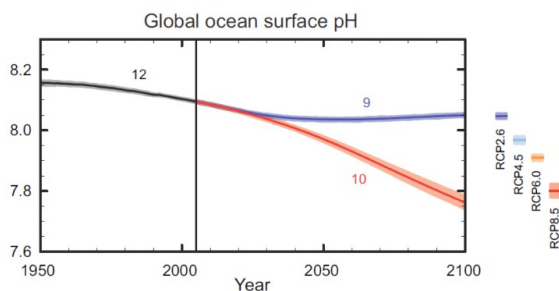


Figure 1 : [GIEC] Evolution du pH moyen en surface de l'océan entre 1950 et 2100 pour les différents scénarios publiés par le GIEC.

Les projections d'évolution de l'acidification, basées sur des relevés réalisés depuis 1950 sont relativement robustes à l'échelle globale. Les modèles « système Terre » développés par la communauté internationale sont relativement robustes pour l'océan de surface (Bopp et al. 2013) et quantifient cette diminution future du pH d'ici 2100 entre -0.06 et -0.31 unités pH pour l'ensemble des scénarios testés. Par contre, les incertitudes augmentent aux échelles plus locales ou encore dans l'océan profond .

Cette acidification croissante et continue est observée dans toutes les mers du globe. Elle perturbe à des degrés plus ou moins importants le fonctionnement des écosystèmes marins et a donc des impacts directs ou indirects sur les sociétés humaines, notamment celles qui sont très dépendantes des services écosystémiques rendus par l'océan.

La question est particulièrement importante pour la France et ses outre-mers, la seconde zone économique exclusive avec plus de 11 millions de kilomètres carrés. Le patrimoine biologique naturel des territoires ultra-marins qui appartient à huit grandes régions biogéographiques terrestres et marines est unique, tant par sa richesse que par sa diversité. Elle représente en particulier 20% des atolls et 10% environ de la totalité des récifs de la planète (55 000 km² de récifs coralliens), sur un linéaire de plus de 5 000 km intégrant la seconde plus grande barrière récifale au monde en Nouvelle-Calédonie et l'une des très rares doubles barrières à Mayotte. Il faut y ajouter la richesse des écosystèmes associés, en particulier les mangroves. Enfin, la Réunion et la Nouvelle-Calédonie se situent dans deux des points chauds mondiaux de biodiversité marine.

Les impacts biologiques de l'acidification des océans

Même si le phénomène physique d'acidification des océans est largement documenté, il reste très difficile de prévoir ses conséquences sur les écosystèmes marins, de le quantifier ou de prédire ses effets rétro-actifs. En effet, la complexité et la diversité des communautés biologiques ralentissent leur modélisation ou leur reproduction en conditions contrôlées en laboratoire.

Des études conduites dans les années 2000 ont révélé des conséquences néfastes sur les processus de

Acidification des océans

calcification. En effet, la baisse de pH provoque une baisse de l'état de saturation de minéraux essentiels à la fabrication de la coquille (calcite et aragonite), ils deviennent plus solubles et sont, de ce fait, plus difficiles à cristalliser, ce qui entraîne une demande énergétique supplémentaire pour l'organisme. S'il paraît évident que l'acidification des océans a des impacts sur les organismes possédant un exosquelette ou une coquille (coccolithophores, coraux, mollusques), les chercheurs ont également démontré que l'acidification avait des impacts sur l'ensemble des écosystèmes marins.

Le plancton

Environ la moitié de la calcite des océans est produite par les coccolithophores, des algues unicellulaires autotrophes présentes dans tous les bassins océaniques sous la forme des minuscules plaques de calcite de leur exosquelette.

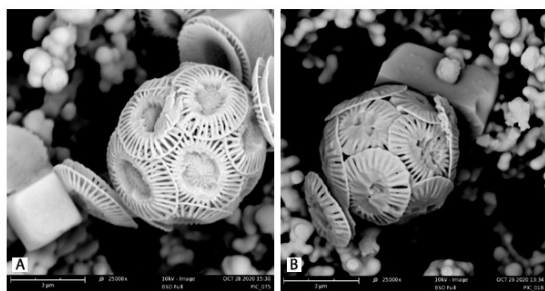


Figure 2 : [Pichereau et al. LEMAR] différence de calcification observées sur deux populations de *Emilia huxleyi* (souches péruviennes). A. Coccolithophore normalement calcifié. B. Coccolithophore sur-calcifié

Les équipes du centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (CEREGE) ont montré que la masse des coccolithes d'*Emiliana huxleyi* a diminué de 30% en 13 ans en Méditerranée (de 5 à 3,5 pg) (Meier et al., 2014). Par ailleurs, les autres paramètres du milieu comme l'élévation de la pression de CO₂ et la température agissent également en synergie ou en antagonisme en fonction des souches.

Ces organismes participent également par des rétroactions complexes, à la pompe biologique de carbone et à la contre-pompe à carbonate dont les intensités dépendent des assemblages des différentes communautés rencontrées et des conditions du milieu (Ciais et al., 2014). Les efflorescences phytoplanctoniques à la base des chaînes trophiques sont ainsi un puits pour le CO₂ dissous et un puits potentiel pour le CO₂ atmosphérique. Bien qu'essentielle pour comprendre les effets globaux de l'acidification et les rétro-actions sur le cycle du carbone via la pompe à carbonate, la compréhension de l'effet du pH sur ces micro-organismes n'est encore que partielle alors que nous savons que leurs réponses sont très variables (figure 2) : certaines souches de coccolithophores sont affectées par l'acidification alors que d'autres en bénéficient (Beaufort et al., 2011; Langer et al., 2006; Langer et al., 2009).

Des premières réponses quant aux différents groupes fonctionnels du phytoplancton sont apportées par les observations spatiales de l'océan qui révèlent les distributions globales de la biomasse phytoplanctonique océanique de surface (Dupouy et al., 2011).

Les récifs coralliens

L'acidification des océans en fragilisant le squelette calcaire des coraux bioconstructeurs pourrait affaiblir les structures coralliennes édifiées autour des îles tropicales et avoir des répercussions sur la biodiversité de ces écosystèmes, et leurs services associés. Or bien que les récifs coralliens soient un point chaud de biodiversité, peu de données sont actuellement disponibles sur la réponse des récifs coralliens à l'acidification de l'océan.

Comme pour le phytoplancton, les organismes des communautés coralliennes présentent des sensibilités différentes à l'acidification des océans (Chan et al., 2013) et pourraient entraîner des modifications importantes de la structure des communautés et ainsi altérer la complexité de l'habitat des récifs coralliens dans le futur (Fabricius et al., 2011, 2013).



Figure 3 : Mazéas Franck, "Paysage sous-marin - Antilles 2," Documentation Ifremer, <http://ifremer-doc.fr/items/show/584>

Les algues

Parmi les organismes les plus sensibles à l'acidification, il y a les algues calcaires corallinacées des bancs de maërl (Kroeker et al. 2013, Martin et al. 2013). En effet, ces algues et leur biodiversité associée sont susceptibles d'être fragilisées par l'acidification en raison de la difficulté à précipiter la calcite magnésienne (CaCO₃), très soluble et de l'avantage compétitif conféré aux macroalgues non calcaires épiphytes du maërl qui bénéficient de l'augmentation de la concentration en CO₂. La réduction de la complexité de l'écosystème maërl pourrait ainsi induire des répercussions majeures sur les interactions complexes entre herbivores et macroalgues, mais aussi bouleverser les équilibres avec les communautés bactériennes essentielles à leur biologie (Egan et al. 2013, Dittami et al. 2014). Les effets de l'acidification sur ces microorganismes associés au maërl sont encore méconnus bien qu'ils jouent un rôle prépondérant lors du recrutement des invertébrés sur les algues corallinacées (Johnson et al. 1991). Par ailleurs, les microorganismes perforants (cyanobactéries, algues et champignons) présents dans les thalles calcaires de maërl sont à l'origine

Acidification des océans

de taux élevés de dissolution susceptibles d'être augmentés par l'acidification des océans (Tribollet et al. 2009).

Les mollusques

Comme pour le plancton ou les algues calcifiées, la coquille des mollusques est principalement constituée de carbonate de calcium CaCO_3 sous deux formes : amorphe aux stades juvéniles puis aragonite aux stades suivants. Cette particularité les rend particulièrement sensibles à l'acidification et constitue un indicateur pertinent pour évaluer leurs réponses adaptatives au stress que constitue l'acidification. Plus généralement, leur répartition dans toutes les mers du globe et à toutes les profondeurs en fait un bon modèle pour les études des impacts de l'acidification sur l'écosystème océan.

Par exemple chez l'ormeau (figure 4), l'acidification du milieu, combinée ou non à une augmentation de la température, a, selon les espèces, un impact négatif sur la mortalité larvaire, la formation de la coquille et la croissance (Crim et al. 2011, Byrn et al. 2011).



Figure 4 : [Wikipedia] Colonie d'ormeaux

Bien que les mollusques soient, pour la plupart, des espèces d'intérêt économique, il existe très peu d'études sur les effets synergiques ou antagonistes de différents stress, dont l'acidification, à tous les stades de vie des animaux. Leurs réponses, comme pour le phytoplancton, est variable et dépend des espèces de bivalves.

Les poissons

Les poissons ont une bonne capacité d'homéostasie, c'est-à-dire qu'ils sont capables de maintenir leurs constantes physiologiques internes quelles que soient les variations physico-chimiques de leur environnement. Ils ont donc longtemps été considérés comme insensibles à l'acidification du milieu (Deigweier et al., 2010, Melzner et al., 2009). Néanmoins, même si peu d'études sont consacrées aux effets du pH sur l'écophysiologie des poissons, certains travaux démontrent une plus forte vulnérabilité des stades juvéniles à la baisse du pH (Moiseenko et Sharova, 2006). Par ailleurs, il est démontré que les conditions environnementales précoces (disponibilité en nourriture, température ou teneur en oxygène) ont une influence sur la plasticité phénotypique et la croissance et ce, tout au long de la vie des poissons (Vagner et al., 2007). Par contre, même s'il est probable qu'il agisse également, les conséquences du paramètre pH sur les trajectoires de vie des poissons n'ont pas encore été évaluées.

Impacts socio-économiques de l'acidification des océans

L'acidification des océans ayant un impact sur une large gamme d'organismes marins et sur l'ensemble des écosystèmes, elle est susceptible d'avoir de sérieux effets sur les services écosystémiques fournis par les océans et donc sur l'économie des communautés côtières qui dépendent des ressources marines (pêche, aquaculture, tourisme). Du fait de l'hétérogénéité des villes côtières (allant de mégapoles continentales à de petits villages insulaires), leur dépendance aux ressources marines et donc leur capacité de résilience est très différente. Aborder la gestion des écosystèmes marins, le tourisme, la gouvernance et l'économie des ressources naturelles permet d'évaluer la vulnérabilité des sociétés humaines à l'acidification des océans et définir des pistes d'utilisation durable des océans pour favoriser leur adaptation (IUCN, 2015/ http://www.iaea.org/ocean-acidification/download/8%20June%202015/CSM-Ocean_Acidification_Web.pdf).

Le tourisme

Le tourisme marin représente une importante activité économique dans de nombreux pays côtiers. La disparition des coraux et des espèces inféodées aux récifs est à ce titre très problématique affectant de très nombreuses autres activités comme la pêche de loisir, la plongée sous-marine, l'éco-tourisme. Par ailleurs, les récifs coralliens protégeant les côtes de l'érosion en limitant l'effet des vagues, leur affaiblissement, voire, leur disparition aura des impacts importants sur les infrastructures littorales.

La conchyliculture

En raison de l'impact de l'acidification sur les coquillages, la conchyliculture est reconnue, y compris par les professionnels du secteur, pour être la principale activité impactée par l'acidification des océans. L'acidification pourrait entraîner la disparition de nombreuses petites entreprises aquacoles.

La pêche

Dans le domaine de la pêche, par contre, les impacts de l'acidification sont mal connus et beaucoup plus indirects. Le secteur de la pêche n'a donc pas pris la mesure des effets à long terme que ce phénomène pourrait entraîner sur les stocks de poissons. Un des premiers effets observés est le déplacement des stocks de poissons en raison des modifications importantes de la chaîne alimentaire : l'augmentation du CO_2 dissous dans la couche de surface et la diminution du pH associée induisent des changements de la biodiversité qui se propagent tout au long des différents échelons de la chaîne trophique.

Les questions posées à la recherche

La recherche sur l'acidification des océans s'est largement intensifiée et les réponses biologiques à l'acidification des océans sont de mieux en mieux comprises avec une mobilisation scientifique et internationale sur cette question depuis les années 2000. La communauté de recherche elle-même s'est structurée autour de la Convention sur la

diversité biologique et est active sur le sujet depuis de nombreuses années en publiant notamment une "Synthèse actualisée sur les impacts de l'acidification des océans sur la biodiversité marine", mise à jour en 2014 (<http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-75-en.pdf>). Néanmoins plusieurs domaines restent encore à explorer et des lacunes doivent être comblées.

Des études qui doivent prendre en compte les effets multi-stress tout au long de la vie des organismes

Bien que l'acidification des océans représente une des principales menaces pour la biodiversité en milieu marin, elle n'est qu'un des éléments des multiples stressseurs qui impactent les écosystèmes océaniques. Le réchauffement et la stratification plus marquée des masses d'eau, la sévérité des épisodes hypoxiques ainsi que les pressions anthropiques doivent également être pris en compte pour une compréhension globale des mécanismes qui concourent à la perte de la biodiversité marine. Les effets synergiques ou antagonistes d'autres stressseurs comme le réchauffement, la pression de Co2 ou les pathogènes sont encore trop peu pris en compte dans les études sur l'acidification des océans. Par ailleurs, la majorité des études sur l'acidification des océans se focalisent sur les réponses individuelles ou spécifique à un stade de développement donné et sur des durées courtes (inférieures à trois mois).

Des études qui doivent changer d'échelle

L'un des enjeux majeurs de la recherche en matière de biodiversité est la prise en compte des interactions entre les éléments d'un écosystème ou même entre les différents écosystèmes. Et pourtant, les écosystèmes sont le lieu d'interactions complexes qui modulent les réponses individuelles, parfois sur le long terme. Par exemple, les interactions entre deux niveaux de la chaîne trophique peuvent être étudiées sur les aspects chimiques, comportementaux ou physiologiques. Travailler au niveau de l'écosystème implique de sortir des laboratoires, or réaliser des études en conditions réelles reste une difficulté majeure, ce qui explique que les études soient peu nombreuses.

Des études encore trop mono disciplinaires et peu généralisables

L'acidification des océans a des implications multiples et

pour les étudier parfaitement, il est important de mieux intégrer toutes les disciplines scientifiques concernées : physiologie, éthologie, écologie, biologie évolutive, génétique, mais aussi économie, sciences sociales et juridiques. Les études pluri- ou trans-disciplinaires restent encore trop rares.

Enfin, les résultats des différentes recherches conduites sont bien souvent d'une portée écologique trop limitée pour permettre de conclure sur la capacité d'un stock ou d'une espèce de poisson à répondre (plasticité) ou à s'adapter (génétique, épigénétique) à l'acidification des océans.

Conclusion

Même si le phénomène physique d'acidification des océans est largement documenté, il reste un important travail de recherche sur ses impacts sur les écosystèmes marins, y compris la prédiction de ses effets rétro-actifs, et ses conséquences économiques et sociales. Avec le concours de la fondation pour la recherche sur la biodiversité, le ministère en charge de l'environnement a lancé un appel à propositions de recherche en septembre 2015 qui a permis d'avoir un aperçu intéressant des travaux susceptibles d'être conduits sur le sujet. Dans un contexte de contrainte budgétaire forte en termes de fonds publics, la question de leur financement reste malheureusement posée.

Auteur

Hélène Soubelet, chef de la mission biodiversité et gestion durable des milieux, direction de la recherche et de l'innovation du CGDD

Contributeurs

MEEM : P. Veyre (CGDD), I. Terrier (DEB)

FRB : P-E Guillain (directeur)

Conseil scientifique acidification des océans du MEEM : J-P Gattuso (président), M. Allenbach, D. Allemand, D. Bailly, G. Claireaux, P. Curry, M. Gehlen, P. Gros, A. Magnan, S. Martin

Porteurs des projets de l'appel 2015 du MEEM : L. Bopp, L. Hedouin, S. Mills, S. Auzoux-Bordenave, T. Lacoue-Labarthe, L. Beaufort, G. Le-Moullac, G. Claireaux, F. Gazeau, S. Martin, V. Pichereau

Dépôt légal :

ISSN :

ISBN :

commissariat général au développement durable

Direction de la recherche et de l'innovation
Service de la recherche
Mission biodiversité et gestion durable des milieux
Tour Séquoia
92055 La Défense cedex
Courriel :

www.developpement-durable.gouv.fr

