

Acidification des océans, un programme de recherche aux avancées « impressionnantes »

Rapport de fin de programme
Janvier 2022

Programme financé par


**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

LE MOT DU PRESIDENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME ACIDIFICATION DES OCEANS

« L'océan s'acidifie en raison de son absorption du quart des rejets de CO₂ dans l'atmosphère par les activités humaines. Cela est connu depuis des décennies mais ce n'est que récemment (1998) que les premiers articles sur les conséquences biologiques et écologiques de ce phénomène ont commencées à être étudiées. Il s'agissait donc d'un champ de recherche tout à fait récent qui, dans les années 1990, impliquait moins de 10 chercheurs dans le monde. Cette thématique a explosé depuis. Aujourd'hui, environ 700 articles scientifiques sont publiés sur ce thème chaque année, impliquant environ 2 400 auteurs.

Malgré cette augmentation phénoménale des activités de recherche au plan international, il reste de nombreuses incertitudes, par exemple sur l'impact conjoint de l'acidification et d'autres facteurs de stress (réchauffement, désoxygénation, etc.), l'impact à l'échelle des écosystèmes et des services écosystémiques, et les facultés d'acclimatation et d'adaptation.

En 2015, juste avant la COP21 à Paris : la Ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer a annoncé, à la surprise de beaucoup d'entre nous, le lancement d'un programme de recherche sur l'acidification des océans. Après quelques péripéties, le Comité scientifique (CS) de ce programme a sélectionné 8 projets avec l'objectif d'avoir une bonne représentation thématique et géographique, ainsi qu'une ouverture vers les parties prenantes. Les résultats de ces projets sont présentés dans le présent rapport.

Le CS félicite les porteurs de projets pour leurs travaux très intéressants. Les avancées sont impressionnantes. Le Ministère de la transition écologique a réalisé une excellente opération en lançant ce programme Acidification des océans en 2015 avec un très favorable rapport qualité/prix. Je suis convaincu, avec mes collègues du CS, qu'il ne faut pas s'arrêter en si bon chemin. La communauté scientifique est prête à relever de nouveaux défis dans le cadre d'un futur programme ».

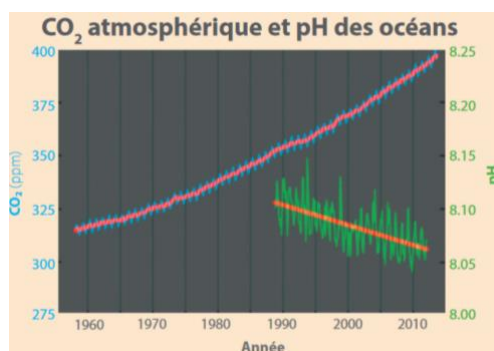
Jean-Pierre Gattuso,
Président du Comité scientifique

PAROLE D'UN PORTEUR DE PROJET

« Ce programme aura permis de fédérer, pendant 3 ans, la recherche menée sur l'acidification des océans en France métropolitaine et outre-mer. Depuis notre première rencontre à Monaco lors du lancement du programme, j'ai l'impression qu'il y a maintenant une certaine cohésion nationale sur cette thématique. Vous avez su créer une dynamique qu'il faudrait pouvoir maintenir. En effet, le changement climatique en cours n'en est qu'à son balbutiement, les crises majeures sont à venir ».

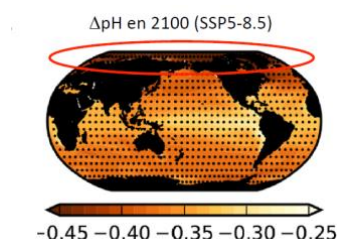
Fabrice Pernet,
Porteur du projet AiAiAi

L'acidification de l'océan est liée à l'absorption par ce dernier de près de 30 % des émissions anthropiques de CO₂. C'est un phénomène bien compris et bien documenté : le pH moyen de l'océan superficiel a diminué de 0.1 unité pH depuis le début de la période industrielle.



Concentration de CO₂ dans l'atmosphère (ppm) et pH de l'eau de mer à la surface
(données Mauna Loa et station d'aloha, Hawaï)
source : d'après Richard Freely, Peter Tans (NOAA), Ralph Keeling (Scripps)

L'évolution future de cette acidification est avant tout fonction des scénarios d'évolution de la concentration atmosphérique de gaz carbonique au cours des prochaines décennies. Les projections pour le 21ème siècle réalisées avec les modèles numériques de climat développés par la communauté internationale sont relativement robustes pour l'océan superficiel et quantifient cette diminution future du pH d'ici 2100 entre -0.06 et - 0.31 unités pH pour l'ensemble des scénarios testés (L.Bopp 2021).



Variation de pH en 2100, scénario GIEC extreme
(rapport final ACIDOSCOPE, programme Acidification des Océans, Laurent Bopp, IPSL)

L'acidification est un paramètre parmi d'autres pressions qui s'exercent sur les organismes marins dans un contexte de changement global : augmentation de la température, de la stratification de la colonne d'eau, diminution de l'injection de sels nutritifs dans la zone euphotique, modification des courants marins et des apports d'éléments nutritifs et de carbone par les rivières et les dépôts atmosphériques.

L'acidification entraîne de lourds impacts écologiques (récifs coralliens plus fragiles, migration des espèces...) et donc des impacts économiques et sociétaux. Le [cahier technique N°75 de la Convention sur la diversité biologique](#) (2015) consacré à l'acidification des océans chiffrait à plus d'un milliard d'euros par an à partir de 2100 le coût de l'inaction dans ce domaine.

Le [3^e atelier international sur les impacts socio-économiques de l'acidification des océans](#), tenu à Monaco début 2015 dont les conclusions sont toujours d'actualité, a notamment montré

l'hétérogénéité spatiale des conséquences de l'acidification et mis en lumière le peu d'études disponibles sur les services écosystémiques de l'océan. Ces services sont non valorisés économiquement actuellement, or ils apportent de nombreux bénéfices : pêche, aquaculture, conchyliculture, activités touristiques et culturelles, protection naturelle des littoraux, etc. L'atelier a été aussi l'occasion de souligner la faiblesse de la prise en compte des zones côtières dans les études sur l'acidification des océans, zones qui pourtant concentrent les populations humaines et les activités économiques liées à l'exploitation du milieu marin. Les changements profonds et rapides des écosystèmes exploités par l'Homme auront des conséquences économiques et sociétales très importantes, d'autant plus si aucune stratégie d'adaptation de ces activités ou de gestion des risques côtiers n'est mise en œuvre.

Lancement d'un programme de recherche

En janvier 2015, le ministère chargé de l'environnement signe avec la Fondation française pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) une convention pour permettre le lancement d'un appel à idées de recherche sur l'acidification des océans et ses conséquences.

Huit projets ont été retenus sur des sujets allant de la compréhension des impacts de l'acidification à leur modélisation en passant par l'observation et la cartographie du phénomène. Ces projets qui ont démarré courant 2017, permettent de mieux appréhender l'ensemble des réponses des organismes et de leurs communautés à l'acidification des océans sur le long terme, compte tenu de l'ensemble des facteurs entrant en jeu.

Un colloque à mi-parcours « **Acidification des océans : conséquences sur les écosystèmes et les activités humaines** », s'est tenu le 28 mars 2019 à Nantes. Co-organisé avec l'Ifremer, il a rassemblé des scientifiques, des représentants des acteurs professionnels (Comité national ou régional de la conchyliculture, comité national de la pêche maritime et des élevages marins), des associations, et des services de l'Etat.

Les présentations et discussions se sont appuyées sur les premiers résultats des huit projets scientifiques mais également sur les témoignages et les attentes des professionnels et associations présents aux tables rondes. Cet événement a permis d'instaurer un vrai dialogue entre les parties prenantes et les scientifiques aboutissant à des échanges riches et dynamiques.



Les coraux sont en première ligne face au réchauffement climatique.
L'acidification des océans nuit aussi à leur survie. © shutterstock / Vlad61 (source : [pour la science](#))

Les résultats des huit projets

Les [résultats de ces huit projets](#) ont été présentés aux professionnels et acteurs de terrain lors du colloque « **Acidification des océans : Effets sur les écosystèmes et l'économie maritime** », organisé en collaboration avec Océanopolis (Aquarium de Brest), le 17 juin 2021, sous un format mixte (plateau à Océanopolis et webinaire). Trois tables rondes portant sur les impacts de l'acidification sur les coquillages, les poissons et les écosystèmes ont permis aux scientifiques et aux acteurs de terrain d'échanger entre eux et avec les nombreux participants en ligne. L'évènement est disponible en [replay](#).

Une restitution destinée à la communauté scientifique a eu lieu en octobre 2021. Les porteurs de projets ont présenté leurs résultats à leurs pairs et aux membres du Conseil scientifique du programme de recherche « Acidification des océans ».

ACIDOSCOPE : projet « Acidification de l'océan : projections, régionalisation et cartographie », coordonné par l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace de Gif-sur-Yvette).

Ce projet a permis de mieux documenter l'évolution potentielle de l'acidification des océans en réponse à l'évolution des émissions anthropiques de CO₂ au cours des prochaines décennies. Ces projections sont mises à disposition de la communauté scientifique pour des études d'impacts sur les organismes et écosystèmes marins. Le projet s'est également intéressé à l'acidification de l'océan Arctique en montrant le rôle particulier d'autres facteurs d'acidification comme les apports de carbone de la matière organique charriée par les grands fleuves, dont il faut tenir compte pour réaliser des projections plus réalistes.

Les principaux résultats obtenus peuvent être résumés en 3 points :

- Les nouvelles projections démontrent, pour le scénario SSP5-8.5, une acidification moyenne plus sévère que dans celles réalisées dans le cadre de l'exercice précédent (CMIP5, Scénario RCP8.5, Bopp *et al.* 2013)
- Les chercheurs ont réduit l'incertitude associée aux projections de l'acidification de l'océan Arctique. Leurs résultats indiquent un stockage de carbone anthropique et une acidification des océans plus importants que ce qui avait été prévu précédemment et augmentent donc la probabilité que de grandes parties de l'océan Arctique mésopélagique soient « corrosifs » pour la calcite d'ici 2100.
- En estimant les effets de modifications des apports fluviaux sur l'acidification en zone côtière, en particulier pour l'océan Arctique (Terhaar *et al.* GBC 2019), ils ont ainsi démontré que ne pas prendre en compte les effets des flux de carbone fluviaux conduit à des projections biaisées du pH dans les mers épicontinentales de l'Arctique.
-

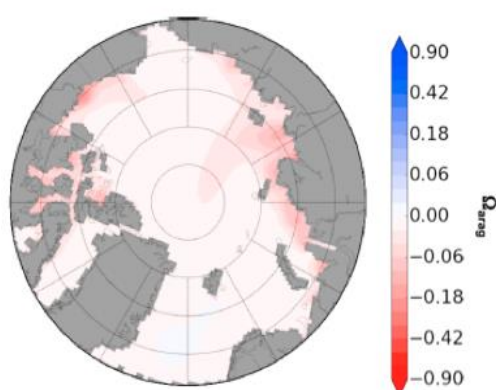
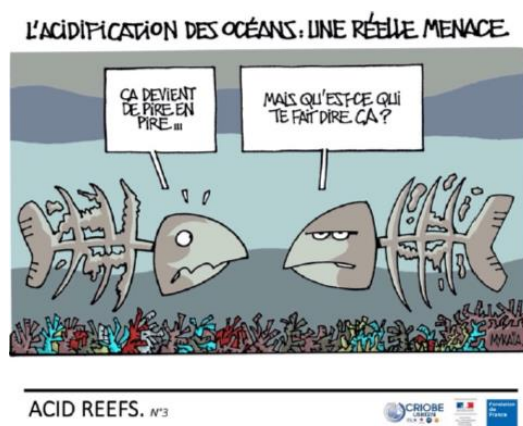


Figure : Modification du pH de surface en réponse à un doublement des apports fluviaux de carbone organique dissous à l'océan Arctique

ACID-REEFS : projet « Impact de l'acidification sur les récifs », coordonné par le laboratoire Criobe (Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement de Polynésie Française), avec l'AIEA Monaco et le centre scientifique de Monaco.

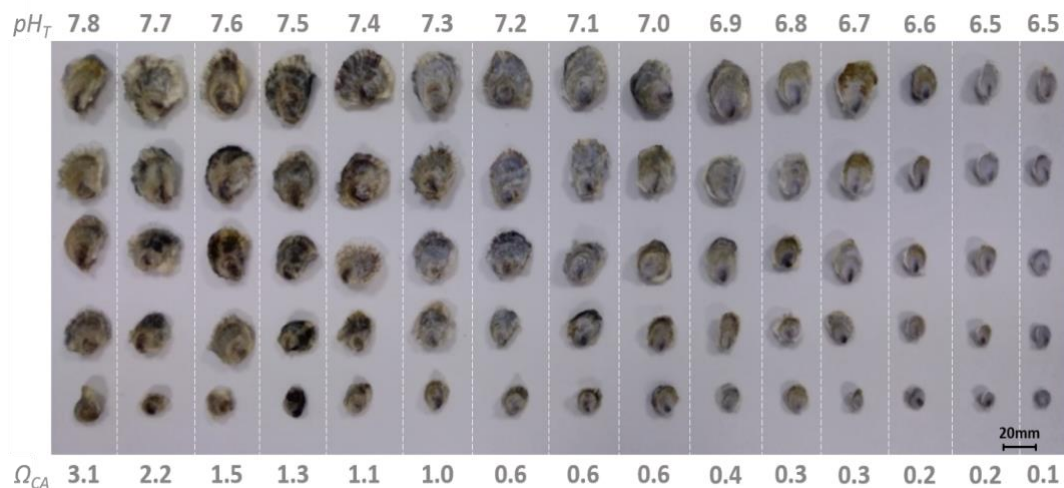
Les récifs coralliens fournissent des services écosystémiques clés indispensables pour les populations (protection côtière, revenus liés au tourisme, source de nourriture, médicaments). Ces animaux sont impactés par le réchauffement de l'océan qui entraîne des épisodes de blanchissement massifs, et par l'acidification des océans. Ce dernier phénomène peut avoir des conséquences néfastes sur les organismes calcifiants comme les coraux, en limitant leur croissance et/ou en fragilisant leur squelette calcaire. Le projet ACID-REEFS, mené sur les récifs coralliens de Moorea, a montré que si les coraux arrivent à maintenir constant leur taux de calcification pour un pH de 7,6, (scénario de pH moyen des océans prévu pour la fin du siècle), les jeunes stades de vie des coraux (larves) y parviennent moins bien. De plus, les algues corallines qui cimentent le récif grandissent moins vite en condition de pH bas. L'ensemble de ces données montre que l'acidification peut altérer la résilience du récif corallien. ACID-REEFS a permis d'identifier clairement les zones les plus vulnérables aujourd'hui et dans le futur dans le périmètre de l'étude. C'est donc dans ces zones que des actions d'adaptation devraient être prioritairement mises en œuvre.



Dessins humoristiques réalisés en partenariat avec Mykaïa sur l'AO et les récifs (rapport final ACIDREEFS, programme Acidification des Océans, Laetitia Hédouin)

AiAiAi : projet « Acidification, acclimatation et adaptation des huîtres », coordonné par IFREMER Polynésie.

Ce projet visait à évaluer l'effet du réchauffement et de l'acidification sur deux espèces d'huîtres : l'huître creuse *Crassostrea gigas*, cultivée en France pour sa chair, et l'huître perlière *Pinctada margaritifera*, cultivée en Polynésie pour la production de perle. Une première expérience a révélé que l'acidification n'avait aucun effet sur les huîtres creuses et leurs descendants, excepté sur la croissance de la coquille des adultes. Il a également été montré que l'augmentation de la température n'est pas un facteur aggravant. Une autre expérience a mis en évidence que l'huître creuse présente une grande tolérance à l'acidification. Bien que sensible à des variations de pH modérées, elle semble plutôt adaptée aux conditions attendues pour 2100. En revanche, la coquille est altérée dès que le pH_T diminuait, suggérant une moindre résistance à la prédation et aux contraintes mécaniques. Une exposition à long terme à une acidification modérée au-dessus du point de basculement pourrait nuire à la condition générale des huîtres, sans forcément compromettre leur survie.



Naissains d'huîtres creuses *C. gigas* exposés à 15 pH_T pendant 23 jours.
Dans chaque condition, 5 huîtres ont été sélectionnées et triées de la plus petite à la plus grande.

COCCACE : projet « Les coccolithophores (algues unicellulaires) et l'acidification océanique », coordonné par le Cerge (Centre européen de recherche et d'enseignement en géosciences de l'environnement d'Aix-en-Provence).

Les coccolithophores sont des micro-algues planctoniques très abondantes dans les couches superficielles de l'océan. Lors de la calcification de leur exosquelette, elles produisent d'énormes quantités de calcaire qui sont estimées comme équivalentes à celles que produisent les coraux et les mollusques réunis. Les répercussions de l'acidification océanique sur la calcification restent encore mal évaluées. Une des difficultés d'étude est la taille minuscule de ces micro algues qui ne permet pas l'observation in-vivo et la mesure de leur masse. Les travaux ont montré que l'espèce la plus abondante de coccolithophore, *Emiliana huxleyi*, est sensible à l'acidification en raison du degré de calcification qui diminue largement avec l'acidification, et du cycle diurne de calcification qui est perturbé à pH relativement faible (7,95). Cependant, les individus collectés dans des zones océaniques caractérisées par des pH naturellement plus faibles qu'ailleurs (<8) ne présentent pas ce problème de calcification aux différents pH étudiés. Ainsi, il semble que certaines populations rares de coccolithophores sont déjà pré-adaptées aux conditions de pH bas qui prévaudront dans l'ensemble des océans dans le futur. Ce travail illustre la complexité de la prédiction de l'adaptation potentielle de l'espèce *Emiliana huxleyi* à l'acidification.

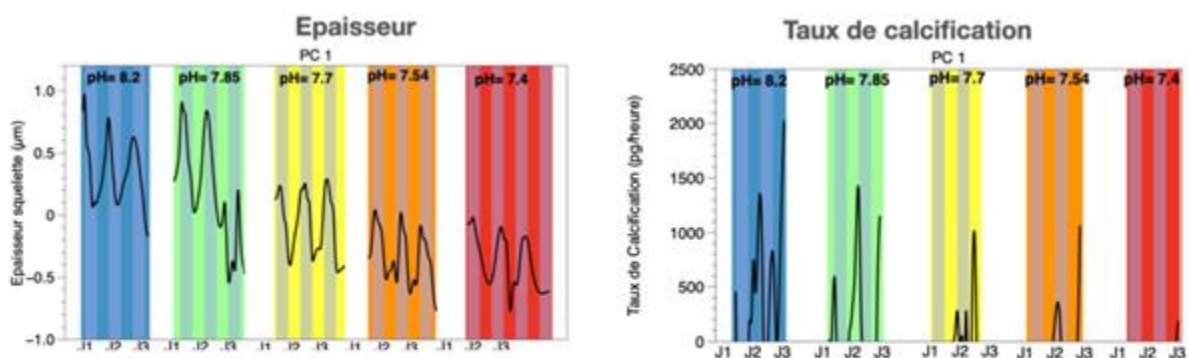


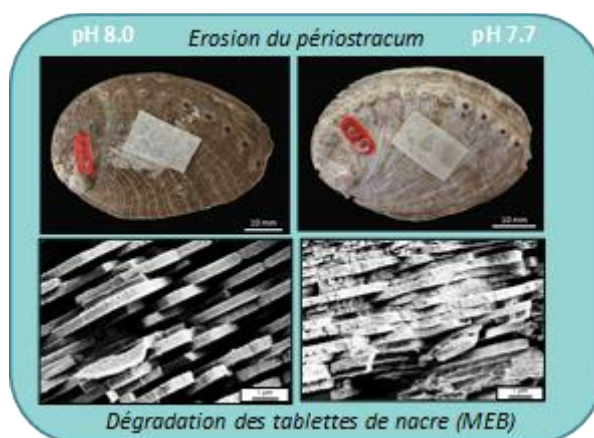
Figure 1 : Résultats moyennés des 46 clones d'*Emiliana huxleyi* maintenus en culture pendant 3 jours et 3 nuits (bandes grises) à 5 pH différents. L'épaisseur du squelette diminue avec le pH (Fig. gauche) et le taux de calcification décroît aussi largement et s'arrête à pH 7,4 (Fig. droite)

ECOSYSTEME : projet « Évaluation des impacts sur deux écosystèmes de cyanobactéries (algues bleues) », coordonné par le laboratoire Corail (Polynésie Française).

Ce projet visait à étudier les impacts de l'acidification et de l'augmentation de la température de l'eau sur les interactions au sein d'une chaîne alimentaire de 4 espèces : cyanobactéries, lièvres de mer (mollusques gastéropodes), nudibranches (idem), crabes, afin de savoir si les relations prédateurs-proies seraient perturbées et si les cyanobactéries pourraient supplanter les coraux dans le futur. Il est connu que les cyanobactéries produisent des toxines qui présentent un danger pour l'Homme et pour les animaux, et qu'elles tendent à remplacer le corail. Les travaux ont montré que la hausse de température favorise la croissance des cyanobactéries alors que l'acidification diminue celle des crabes. Ces deux facteurs de stress cumulés ont diminué la survie et la reproduction de tous les membres de la chaîne alimentaire étudiée. La capacité de recherche de nourriture et le métabolisme du lièvre de mer herbivore ont diminué, altérant son efficacité à réduire les proliférations de cyanobactéries. Il y a donc un risque que les récifs passent d'une situation dominée par les coraux à une situation dominée par les cyanobactéries. Il a cependant été constaté que les lièvres de mer exposés à des températures élevées et à l'acidification dès leur plus jeune âge n'étaient pas aussi affectés par les facteurs de stress, ce qui laisse présager que cette espèce peut s'acclimater avec le temps aux nouvelles conditions climatiques.

ICOBIO : projet « Impact du changement océanique sur la biologie de l'ormeau, une espèce d'intérêt économique », coordonné par le laboratoire Borea (station de biologie marine de Concarneau).

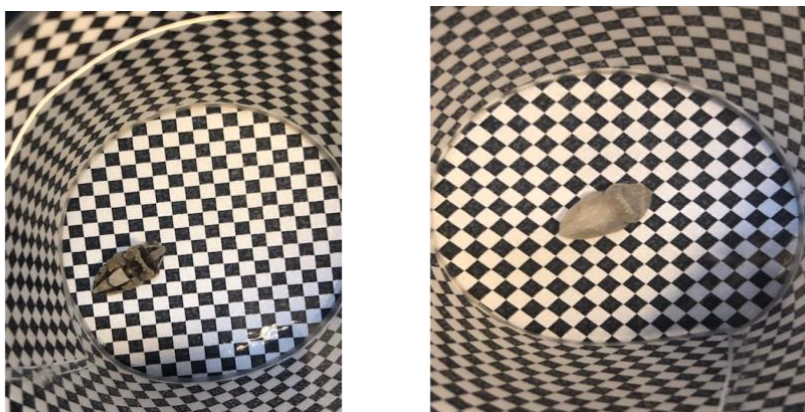
Ce projet visait à étudier les réponses morphologiques, physiologiques et comportementales de l'ormeau face à l'acidification océanique. En effet, l'ormeau est un mollusque d'intérêt écologique et économique exploité en Bretagne (pêche et aquaculture) pour sa chair comestible. Comme de nombreux organismes littoraux, cette espèce est sensible aux variations des conditions du milieu, notamment de température et de pH. De plus, la coquille de l'ormeau est majoritairement constituée d'aragonite, une forme de carbonate de calcium particulièrement sensible à l'acidification. Les travaux ont montré que l'acidification entraîne des anomalies du développement et une fragilisation de la coquille des ormeaux, ce qui pourrait nuire à l'installation des larves et accélérer le déclin des populations sauvages. Ces nouvelles données vont permettre aux professionnels d'adapter leurs pratiques d'élevage afin d'assurer une production durable de juvéniles pour la commercialisation.



Effets d'une diminution de 0,3 unité pH sur la coquille de l'ormeau
(rapport final ICO_Bio, Stéphanie AUZOUX-BORDENAVE)

MERCY : projet « Impact du mercure et du gaz carbonique sur la seiche », coordonné par le laboratoire LIENSs (université de La Rochelle).

Ce projet a étudié les éventuels effets couplés de l'acidification et de la contamination par le mercure sur la biologie et le comportement des seiches. Après avoir vérifié que le mercure s'accumulait significativement dans les cerveaux de ces animaux, des travaux expérimentaux ont permis de démontrer que les processus dynamiques et l'efficacité de bioaccumulation du mercure n'étaient pas affectés par l'acidification de l'eau de mer. En revanche, l'acidification retarde le développement embryonnaire et impacte l'apprentissage de comportements spécifiques pendant le premier mois de la vie juvénile. Les mêmes effets sont observés, dans une moindre mesure, chez les juvéniles qui se nourrissent de proies contaminées en mercure. Ainsi, les seiches soumises à une élévation de CO_2 et/ou une contamination au mercure ne se camouflent pas dans un milieu hétérogène, ce qui pose la question de savoir si elles ne le peuvent pas ou ne le veulent pas. La latéralisation visuelle, c'est à dire l'utilisation préférentielle d'un côté du cerveau pour effectuer des tâches rapides comme détecter des prédateurs, s'inverse sous l'effet du CO_2 et du mercure. Les liens entre le comportement et les mécanismes moléculaires de toxicité du CO_2 et du mercure sur le système nerveux sont encore à élucider.



Photos des colorations de juvéniles de seiches prises sur un damier simulant un milieu hétérogène. A gauche, une seiche contrôle prend une coloration complexe favorable à un camouflage efficace. A droite, une seiche maintenue dans l'eau acidifiée garde une coloration unie et homogène, beaucoup plus visible (Photos : © Antoine Minet)

PACIO : projet « Réponses physiologiques et adaptatives des poissons à l'acidification des océans », coordonné par le laboratoire Lemar (Laboratoire des sciences de l'environnement marin de Brest).

En sus des effets néfastes de l'acidification, l'augmentation de la teneur en CO_2 libre dissous dans les eaux marines diminue la capacité des poissons à éliminer ce gaz à travers leurs branchies. Afin de répondre aux effets combinés de ces deux phénomènes, les poissons procèdent à des ajustements de leur chimie interne qui sont susceptibles de se répercuter sur les performances d'une large gamme de fonctions physiologiques. En 2013, 30 000 larves de bar ont été mises en élevage dans deux conditions expérimentales différentes. Durant les 4 années suivantes, le développement, la physiologie et le comportement de ces poissons ont été examinés. En 2018, les premiers bars ayant atteint l'âge de se reproduire, deux nouveaux lots de larves ont été constitués sur lesquels de possibles effets trans-générationnels ont été recherchés. Les travaux ont ainsi permis de montrer que la croissance, la reproduction, l'immunité et le comportement sont perturbés par l'augmentation de la teneur en CO_2 des eaux marines et par l'acidification qui en découle. Ces résultats constituent un socle de connaissances qui permet d'envisager des études de physiologie mieux ciblées mais également une analyse plus pertinente des potentielles retombées de l'acidification des océans sur la dynamique des populations de poissons et la productivité des écosystèmes.

EN CONCLUSION

Le programme a contribué à renforcer des coopérations internationales sur un thème dont les implications peuvent être multiples tant au niveau écologique qu'économique. Il a donné une forte visibilité aux travaux menés par les équipes impliquées du fait d'un effort conséquent de valorisation vers la communauté scientifique, professionnelle et grand public. Il a aussi contribué à la formation d'un nombre important de jeunes chercheurs ainsi qu'à leur insertion dans des réseaux internationaux.

Les principaux objectifs des projets ont été atteints, malgré les difficultés rencontrées liées aux contraintes sanitaires de 2020-2021 (report d'évènements, d'expériences en laboratoires). La prolongation de la convention a permis ainsi de remédier à ces difficultés.

Plus précisément, le programme de recherche sur l'acidification des océans a permis :

- La constitution d'un **réseau de chercheurs français** travaillant sur le thème de l'acidification des océans ;
- De servir de **levier vers des financements** : plusieurs projets de recherche ont été financés et sont en attente de réponse par d'autres organismes financeurs (Région Bretagne, Nouvelle Aquitaine, organismes de recherche, labex Mer). Citons par exemple :
 - le projet AiAiAi a servi de levier pour obtenir un projet financé par le FEAMP (la conchyliculture dans un monde riche en CO₂, CocoriCO₂). « *Le meeting de Nantes en 2019 a été crucial, puisque vous aviez réuni scientifiques, professionnels, services de l'état et financeurs qui ont été sensibilisés à la thématique et à notre projet.* » Fabrice Pernet, porteur du projet AiAiAi ;
 - le projet MERCy a démontré son intérêt auprès des décideurs régionaux et trouvé ainsi les moyens nécessaires à une suite scientifique par le biais d'un projet régional axé sur l'accumulation de divers contaminants chez des prédateurs, dont la seiche, sur le littoral charentais ;
 - le projet ACIDOSCOPE a permis la création d'une Chaire de Recherche ENS-Chanel sur le cycle du carbone dans l'océan, financé à l'Ecole Normale Supérieure par la société Chanel (<http://chairechanel.ens.fr/home/>). Un axe de cette Chaire concerne directement l'acidification de l'océan.
- des publications scientifiques; par exemple : (<https://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsaa248>, ou <https://www.ices.dk/news-and-events/news-archive/news/Pages/IJMSaquaculture.aspx> pour le projet AiAiAi ;
- le **développement et le renforcement de collaborations avec des partenaires**, et l'ouverture de nouvelles perspectives de recherche ; par exemple Ico-Bio avec France Haliotis ;
- le **développement des compétences** avec la participation de nombreux post doc, doctorants, MI et MII sur chaque projet financé
- des **communications au grand public et en direction des professionnels diversifiées**, et par le biais de supports variés (exposition, festival, fête de la science (MERCy, Ico_Bio, etc.), des podcast, des documentaires télévisé (MERCy) des valises pédagogiques (ACID_REEF), des sites internet (ACIDOSCOPE, COCACCE), des compte twitter (ACIDOSCOPE), des contributions aux rapports du GIEC – et en particulier aux rapports d'évaluation du 6eme cycle du GIEC, qui vont paraître à l'automne 2021 (ACIDOSCOPE).

LES PERSPECTIVES

Selon Jean-Pierre Gattuso (Président du Conseil scientifique Acidification des océans), « les avancées [scientifiques issues de ce programme] sont impressionnantes. Malgré l'augmentation importante des activités de recherche au plan international, il reste encore de nombreuses incertitudes, par exemple sur l'impact conjoint de l'acidification et d'autres facteurs de stress (réchauffement, désoxygénation, etc.), l'impact à l'échelle des écosystèmes et des services écosystémiques, ainsi que sur les facultés d'acclimatation et d'adaptation des espèces. La communauté scientifique est prête à relever de nouveaux défis dans le cadre d'un futur programme ».

L'acidification de l'océan s'inscrit dans le contexte plus large du changement climatique global qui a d'autres impacts sur l'océan. L'étude des effets de l'acidification doit prendre en compte ces autres conséquences (réchauffement, désoxygénation) ainsi que la pollution issue des activités humaines (plastiques, agriculture, etc.).

COORDINATION ET REDACTION

Pascale Ebnert, Aurélie Chamiot-Prieur et Claire Salomon