



# ACIDIFICATION DES OCÉANS

## Fiche résultat

### COCCACE

#### les COCCcolithophores et l'ACidification océaniquE

Porteur du projet : Luc Beaufort, CNRS-Cerege

Début et fin du projet : 2017-2020

Site internet : <http://coccace.cerege.fr/>

#### Résumé

Les coccolithophores sont des algues unicellulaires qui minéralisent un exosquelette de calcite sensible à l'acidification de l'océan. Afin d'estimer le futur impact de l'acidification, COCCACE propose d'étudier en continu, et sur plusieurs générations de cellules, la calcification à différents pH sur plusieurs souches de coccolithophores.

#### Contexte et objectifs

Les coccolithophores sont des microalgues unicellulaires planctoniques très abondantes dans les couches de surface de l'océan. Lors de la calcification de leur exosquelette, elles produisent du calcaire dans des quantités équivalentes à celles que produisent les coraux et les mollusques réunis. L'acidification océanique constitue une contrainte pour la calcification aujourd'hui encore mal évaluée et révélant des résultats contradictoires sur la calcification des coccolithophores selon l'espèce étudiée.

La première raison est leur taille minuscule, qui empêchaient l'observation *in vivo* et la mesure de la masse. **Grâce à des techniques optiques, d'intelligence artificielle et de microscopie, le groupe de travail a développé un protocole permettant**

d'estimer la calcification des coccolithophores en culture sous microscope et en continu. Ainsi, pendant les expériences reproduisant les conditions océaniques du futur (plus acides), ils ont pu démontrer que l'espèce dominante, *Emiliana huxleyi*, est affectée par l'acidification : leur degré de calcification diminue avec l'augmentation de l'acidification. Cependant les individus collectés dans des zones océaniques caractérisées par des pH naturellement plus faibles ne présentent pas ces problèmes de calcification aux différents pH étudiés, alors même que cette espèce a déjà disparue d'une immense zone océanique à cause son acidification. Ainsi il semble que certaines populations rares de coccolithophores sont déjà préadaptées aux conditions qui prévaudront dans le futur, alors que d'autres ne le sont pas. **Ce travail illustre les variabilité d'adaptation des coccolithophores** (en particulier *E. huxleyi*) à l'acidification future des océans.

L'objectif de COCCACE est d'estimer le stress causé par l'acidification des océans sur les coccolithophores. Pour arriver à estimer le futur de la calcification dans l'océan, il est nécessaire de **caractériser l'optimum et les conditions limites de calcification à différents pH** dans un grand nombre de clones d'une des espèces les plus répandues, *Emiliana huxleyi*, collectés dans des conditions de pH particulières

### Méthode et approches utilisées pour le projet

Un objectif technique de COCCACE est de développer une nouvelle méthode de culture sous microscope inversé qui permette de mesurer la masse de calcite des exosquelettes des coccolithophores en contenu, de jour comme de nuit, sans avoir à mettre fin à la culture. Le pH a été stabilisé durant la culture aux niveaux voulus pour estimer la réponse de la calcification dans différents scénarii.

48 puits de culture simultanée ont été étudiés, sous atmosphère contrôlée, avec un système d'optique permettant d'estimer le degré de calcification en continu, avec une imagerie 3D (*stacking*) et en mosaïque de chaque puits. Ce système expérimental est couplé à un système d'intelligence artificielle reconnaissant automatiquement les cellules pour les suivre dans leur croissance. Ainsi la calcification de 23 souches d'*Emiliana huxleyi*, collectées dans différentes conditions océanographiques, pendant plusieurs jours à 5 pH différents (après un mois d'acclimatation) a été étudiée de près. Ces expériences ont duré plusieurs mois, et ont permis d'amasser un large corpus de données (23 souches, x 2 répliqua, x 5 pH = 230 expériences x 33 étapes de contrôle = 7790 points de mesure) sur la relation acidification et calcification des coccolithophores.

### Principales conclusions

Les expériences COCCACE ont montré :

(1) qu'il existe une adaptabilité naturelle de certaines souches d'*E. huxleyi*, et que cette espèce reste largement sensible à l'acidification océanique.

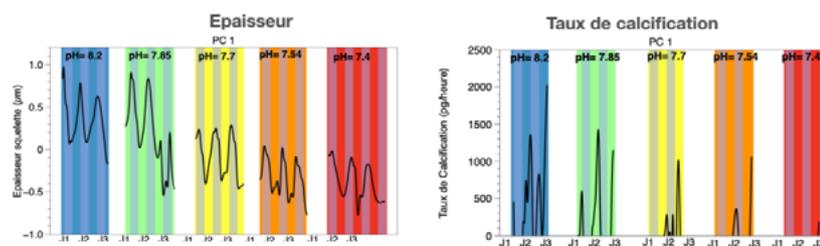


Figure 1 : Résultats moyennés des 46 clones d'*Emiliana huxleyi* maintenus en culture pendant 3 jours et 3 nuits (bandes grise) à 5 pH différents. L'épaisseur de squelette diminue avec pH (fig. gauche) et le taux de calcification décroît aussi largement et s'arrête à pH (fig. droite)

L'espèce dominante des coccolithophores, *Emiliana huxleyi*, rencontrera des difficultés de calcification dans le futur océan dont le pH sera inférieur à 7,8 (Figure 1). Seuls quelques rares individus, prélevés dans des environnements où le pH est naturellement bas, ne seront pas affectés par l'acidification. Ainsi on peut prévoir de **profonds bouleversements pour cette espèce dans le futur proche** : disparition dans certaines zones (ex. : elle était dominante au nord de la Papouasie jusqu'en 2000, puis y a disparu, Beaufort *et al.*, *in prep.*), et possibles développements ailleurs de certaines variétés, dans des zones jusque là peu propices.

**(2) C'est la combinaison de la température élevée et acidification qui constitue le principal problème.**

COCCACE a démontré que *E. huxleyi* a disparu depuis 20 ans de la *Western Pacific Warm Pool*, une zone aussi grande que l'Europe. La diminution de l'abondance au cours de la fin du 20<sup>e</sup> siècle a été accompagnée d'une diminution de la calcification pendant une période de diminution du pH. Cependant, des souches morphologiquement similaires collectées au bord de la *Warm Pool* sont résistantes à la même diminution du pH lorsqu'elles sont cultivées à des températures plus basses.

**(3) En Méditerranée occidentale, le degré de calcification d'*E. huxleyi* a diminué entre 1995 et 2007, mais s'est stabilisé depuis 2013, alors que le pH a diminué régulièrement depuis 1995.**

**Une adaptation de la calcification au faible pH pourrait expliquer ses résultats.**

En Méditerranée orientale (Liban), nos données montrent qu'au cours des trois dernières années, le degré de calcification a diminué en parallèle avec le pH. Une étude suggère même un cycle saisonnier de calcification à toutes les profondeurs.

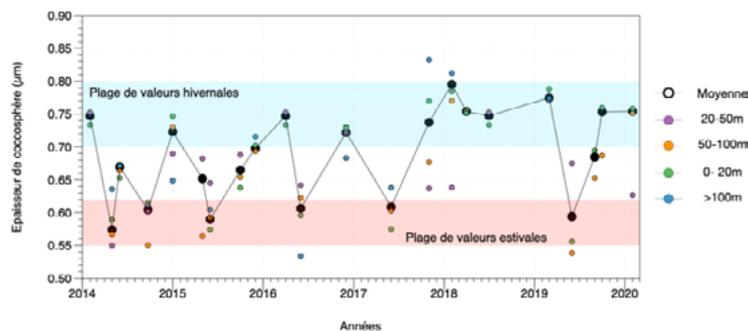


Figure 2 : épaisseur des coccosphères d'*Emiliana huxleyi* collectées à 15 km au sud de Marseille à plusieurs profondeurs et à différentes saisons ; Habib, thèse en prép., et Habib *et al.*, en prép.

**Impact des résultats**

Il est important de pouvoir quantifier les effets de l'acidification océanique sur les coccolithophores qui en sont des témoins essentiels, pour pouvoir prédire l'impact des changements futurs.

Les expériences d'acidification menées avaient pour principale contrainte de résoudre le problème de la taille micrométrique des coccolithophores qui empêchait jusqu'à ici de suivre la calcification durant l'expérience. Le projet COCCACE a permis le développement d'un protocole permettant de suivre la calcification en continu. Cette méthode, présentée lors de la conférence Coccolithophores 2019, a eu un fort succès, les méthodes de travail inspirant désormais d'autres laboratoires.

De même, l'idée d'une adaptation naturelle de certaines souches à l'acidification avait été suggérée, mais jamais démontrée, ce que COCCACE a établi.

La disparition en raison de l'acidification d'une espèce dominante comme *Emiliana huxleyi*, sentinelles peu connue de l'état de l'océan, aura certainement des répercussions écologiques importantes dont les conséquences ne sont pas encore évaluées.

**PARTICIPANTS :**

Luc BEAUFORT, CNRE-Cerege / Yann PROBERT, Station marine de Roscoff / Diana RUIZ-PINO, Université de Paris-Sorbonne / Yves GALLY, CNRS-Cerege / Laura PERRIN, Station marine de Roscoff / Madj HABIB, CNRS-Cerege / Martin TETARD, CNRS-Cerege.