

LES CLIMATS DE LA TERRE : COMPRENDRE LE PASSÉ POUR AGIR AUJOURD'HUI ET DEMAIN

Les coccolithophoridés, amplificateurs des variations climatiques

Des études scientifiques suggèrent que les coccolithophoridés auraient, au cours du Quaternaire, amplifié les variations climatiques liées aux paramètres astronomiques.

Expliquez comment les coccolithophoridés ont pu constituer à amplifier les variations du climat au cours du quaternaire.

Vous organiserez votre réponse selon une démarche de votre choix intégrant des données issues des documents et les connaissances complémentaires nécessaires.

Document 1 : Les coccolithophoridés, organismes planctoniques des écosystèmes marins

Document 1a : Caractéristiques cellulaires des coccolithophoridés

Les coccolithophoridés sont des algues unicellulaires photosynthétiques. A un certain stade de leur développement, elles produisent des plaques de carbonate de calcium (CaCO_3) cristallisées sous forme de calcite et appelées coccolithe. ces plaques forment une protection autour de la cellule : la coccosphère.

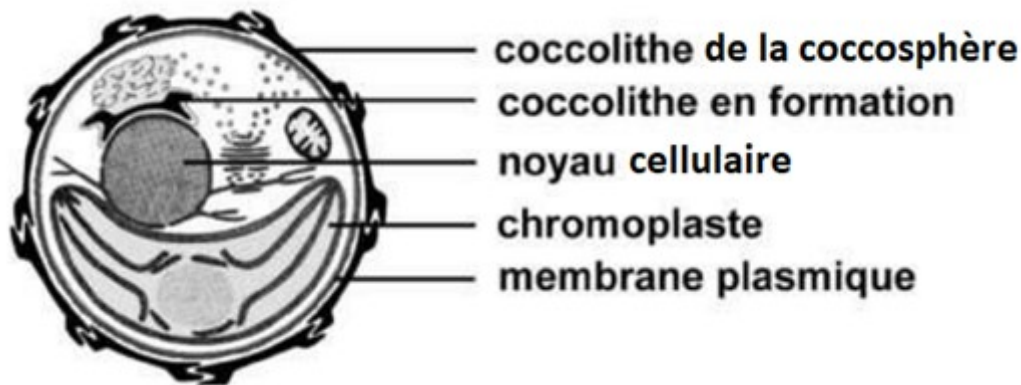
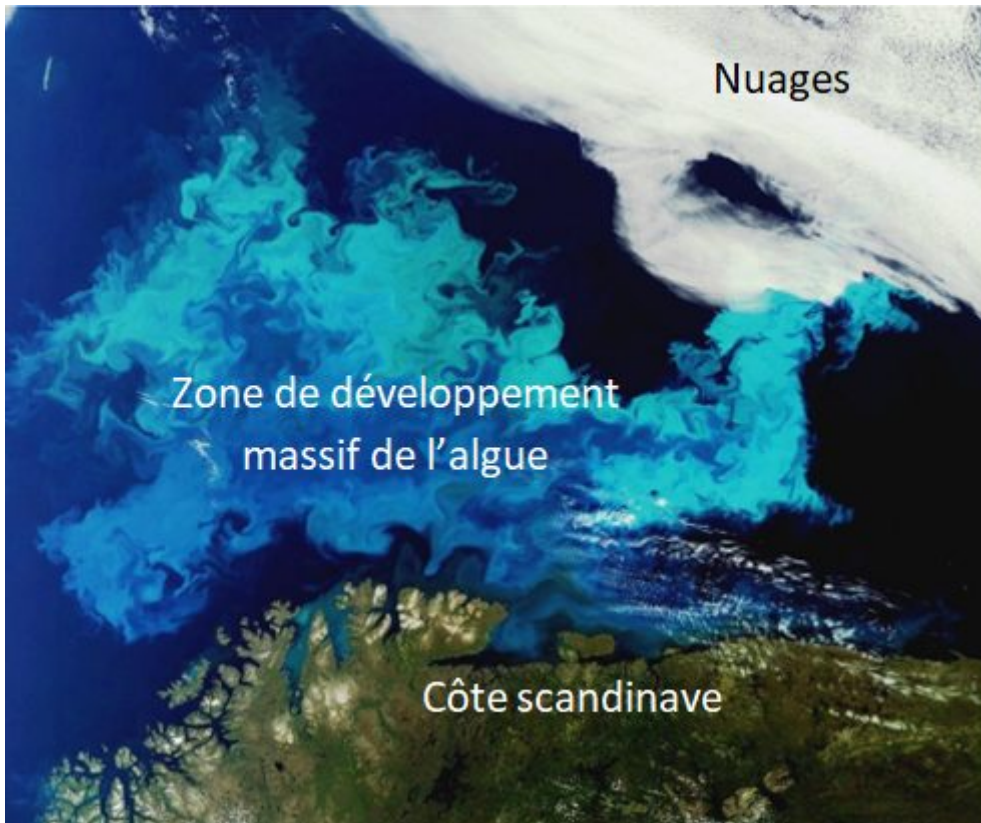


Schéma de la structure cellulaire, chez *Emiliana huxleyi*.

Source : d'après thèse de L. Perrot. Observer les coccolithophores de l'espace, 2017

Document 1b : Distribution géographique et temporelles des coccolithophoridés .

Les coccolithophoridés sont présents dans tous les océans actuels. ils sont connus à l'état fossile, depuis le début du Mésozoïque, il y a 215 millions d'années.



Ces organismes se développent en abondance sur d'immenses zones, couvrant jusqu'à plusieurs centaines de milliers de km².

Ci-contre, la distribution d'*Emiliana huxleyi* dans la mer de Barents.

Image prise par le satellite ENVISAT en 2011.

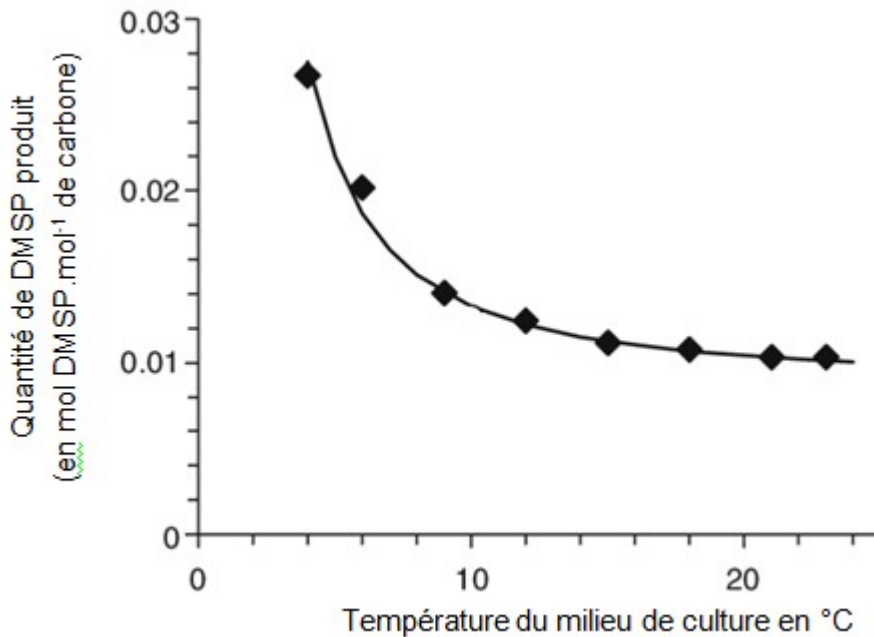
Source : d'après Thèse L. Perrin, *Physiologie du coccolithophoridé *Emiliana huxleyi* en co-limitation de nutriments et de lumière*, 2016

Document 2 : Métabolisme des coccolithophoridés et propriétés physico-chimiques des nuages

Le phytoplancton produit un composé soufré, le diméthylsulfoniopropionate (DMSP), impliqué dans les réactions de défense contre les prédateurs et les pathogènes. Les coccolithophoridés sont les principaux producteurs océaniques de DMSP.

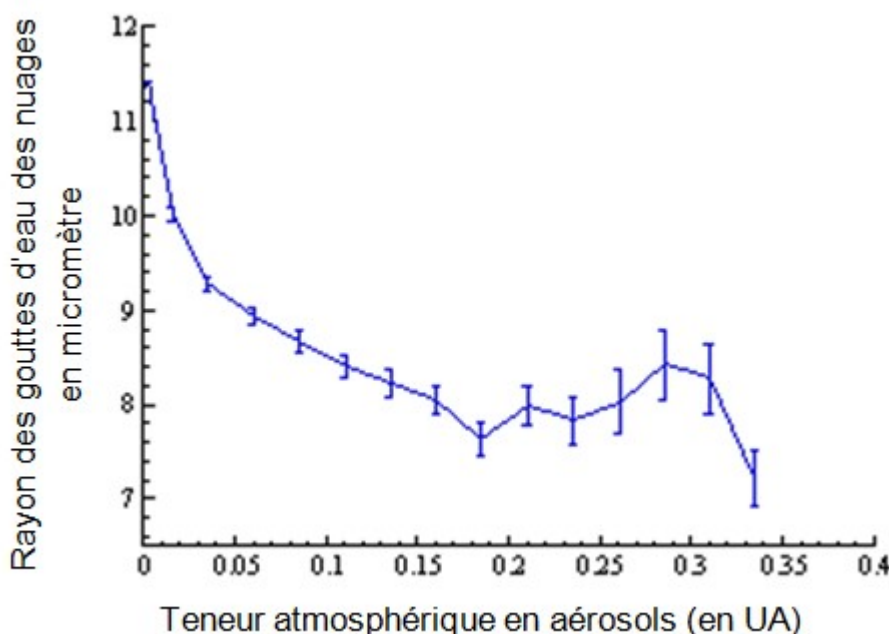
Document 2a : Effet de la température sur la production de DMSP chez *Emiliana huxleyi* en culture.

Les DMSP diffusent dans l'atmosphère où ils se forment des aérosols qui condensent l'eau. Cela permet la formation de gouttes d'eau qui composent les nuages.



Source : d'après Van Rijssel & Gieskes, 2002

Document 2b : Teneur atmosphérique en aérosols et taille des gouttes dans les nuages au dessus de l'océan.



Document 2c : Relation entre l'albédo des nuages et le rayon des gouttes d'eau

L'albédo des nuages est d'autant plus élevé que le rayon des gouttes d'eau est petit.

Source : d'après <https://parasol.cnes.fr> et http://pedagogtech.inp-toulouse.fr/200525/co/Wiki_04_02.html

Document 3 : Métabolisme des coccolithophoridés et flux de carbone à l'interface océan/atmosphère.

Les coccolithophoridés réalisent deux réactions métaboliques qui impliquent le CO₂.

1. Pompe à CO₂ liée à la photosynthèse en surface suivie de la sédimentation en profondeur.

Pendant le processus de photosynthèse, les coccolithophoridés utilisent la lumière comme source d'énergie lors de la synthèse des composés organiques à partir du dioxyde de carbone dissous dans l'eau.

Après la mort des cellules, une partie de la matière organique formée par les coccolithophoridés sédimente en profondeur, ce qui conduit au piégeage du carbone atmosphérique.

2. Contre-pompe liée à la calcification de la coccosphère.

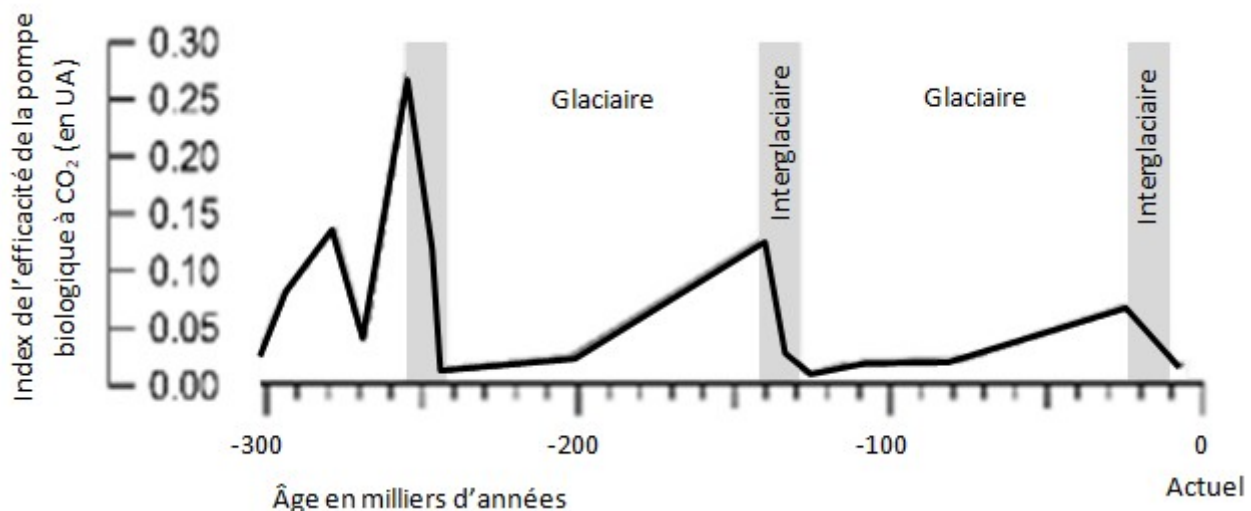
Les coccolithophoridés forment des coccolithes en calcite ce qui conduit à une libération de CO₂ dans l'océan qui diffuse ensuite dans l'atmosphère.

Source : d'après thèse L. Perrin, 2016

Document 4 : Index d'efficacité de la pompe biologique déterminé à partir de sédiments d'âge quaternaire échantillonnés dans l'océan austral.

Les teneurs en carbone organique et minéral de sédiments marins issus de l'activité des coccolithophoridés permettent d'estimer l'importance relative des processus de pompe et de contre-pompe et de déterminer un index au cours du temps. plus l'index est élevé plus le piégeage du carbone a été important.

Sur le graphique ci-dessous, les périodes glaciaires correspondent aux zones sur fond blanc et les périodes interglaciaires correspondent aux zones sur fond gris. leur alternance est contrôlée par les paramètres orbitaux de la terre.



D'après thèse de M. Brandon. Les changements majeurs de la productivité biologique au cours du Quaternaire et leurs impacts sur les cycles du carbone et de l'oxygène, 2020.

Éléments de correction :

Intro : quaternaire période qui commence il y a 2.5 Ma. **Nous allons expliquer comment les coccolithophoridés (algues unicellulaires planctoniques) ont pu contribuer à amplifier les variations climatiques du quaternaire.**

Analyse des documents :

Doc 1a : - Coccolithophoridés réalisent la photosynthèse
- Coccolithophoridés produisent une coccosphère formée de carbonates de calcium (CaCO_3)

Doc 1b : - Coccolithophoridés présents depuis le Mésozoïque (215 Ma)
- Présence de nuages à proximité d'une zone de développement massif de l'algue

Doc 2 : - coccolithophoridés sont les principaux producteurs océaniques de DMSP (composé soufré)

Doc 2 a : - les DMSP diffusent dans l'atmosphère et permettent la formation des nuages (cf doc 1b)
- En culture, plus la température est basse et plus le coccolithophoridé *E huxleyi* produit de DMSP

Doc 2b : - + la teneur en aérosols de l'atmosphère augmente et plus la taille des gouttes dans les nuages diminue

Doc 2c : - L'albédo des nuages est d'autant plus élevé que le rayon des gouttes d'eau est petit.

Doc 3 : - la photosynthèse des coccolithophoridés permet la conversion de CO_2 en matière organique, piégée dans les sédiments à la mort de ceux-ci.
- La formation de la coccosphère aboutit à la libération de CO_2 dans l'atmosphère

Doc 4 : - au cours d'une période glaciaire, l'efficacité de la pompe à CO_2 des coccolithophoridés augmente = du CO_2 est piégé
- Au cours d'une période interglaciaire, l'efficacité de la pompe à CO_2 des coccolithophoridés diminue = du CO_2 est libéré

Connaissances nécessaires :

- photosynthèse : le CO_2 atmosphérique est réduit en MO

- CO_2 = GES. Les GES piègent les IR réémis par la surface du sol → augmentation de la température terrestre = Effet de serre

- l'albédo est défini comme le rapport entre énergie réfléchie et énergie reçue à la surface du sol. Si l'albédo augmente, la terre est moins chauffée par le rayonnement solaire, elle réémet moins d'IR et l'effet de serre diminue.

- quaternaire : alternance de périodes glaciaires et interglaciaires, cycles d'environ 100 000 ans

Mise en relation :

Les coccolithophoridés participent à l'amplification des variations climatiques du quaternaire de 2 façons :

1. Lorsque la température diminue, ils produisent plus de DMSP (doc 2a).
Les DMSP diffusent dans l'atmosphère où ils provoquent la diminution de la taille des gouttes des nuages (doc 1b et doc 2b).
Or l'albédo des nuages augmente quand la taille des gouttes d'eau diminue (doc 2c). Si l'albédo augmente, davantage d'énergie est réfléchie par les nuages avant d'avoir réchauffé le sol de la Terre. Moins d'IR sont donc réémis et l'effet de serre diminue, ce qui amplifie le refroidissement.

On imagine que le mécanisme inverse se produit en cas de réchauffement (réchauffement donc moins de DMSP émis, taille des gouttes d'eau des nuages augmente, albédo nuage diminue, ce qui augmente l'ES et amplifie le réchauffement).

2. Les coccolithophoridés réalisent deux réactions métaboliques qui jouent sur le taux de CO_2 (doc 3) :

- la photosynthèse qui contribue au piégeage de CO_2 atmosphérique (CO_2 converti en MO , ensuite piégée dans les sédiments océaniques), donc à la diminution de la teneur en GES donc de l'ES, donc à un refroidissement.
- La formation de la coccosphère, elle, provoque une libération de CO_2 , donc une augmentation de la teneur en GES dans l'atmosphère donc un réchauffement.
- Lorsqu'on fait le bilan de ces deux mécanismes aux conséquences opposées (doc 4) on constate que l'efficacité de la pompe à CO_2 (qui piège donc le CO_2 atmosphérique) augmente en période glaciaire. Donc plus il fait froid, plus les coccolithophoridés piègent du CO_2 ce qui entraîne la diminution de la teneur en GES de l'atmosphère, donc la diminution de l'ES ce qui amplifie le refroidissement.
- En revanche en période interglaciaire, l'efficacité de cette pompe diminue, moins de CO_2 est piégé, la teneur en GES de l'atmosphère augmente, ce qui augmente l'effet de serre et amplifie le réchauffement.