

THÈSE

PRÉSENTÉE A

L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

ÉCOLE DOCTORALE : Géosciences et Ressources Naturelles

Par Yaël Candelier

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

SPÉCIALITÉ : Sciences de la Terre

Fractionnement isotopique de l'oxygène dans la calcite des coccolithes : origine et implications paléocéanographiques

Directeur de recherche : Maurice Renard
Co-directeur de recherche : Fabrice Minoletti
Co-directeur de recherche : Michaël Hermoso

Soutenue :

Devant la commission d'examen formée de :

M. Maurice	RENARD	Prof. Université Pierre et Marie Curie	Directeur de thèse
M. Fabrice	MINOLETTI	MCF Université Pierre et Marie Curie	Co-directeur
M. Michaël	HERMOSO	NERC Research Fellow, University of Oxford	Co-directeur
Mme Rosalind	RICKABY	Prof. University of Oxford	Rapporteur
M. Giovanni	ALOISI	CR Université Pierre et Marie Curie	Rapporteur
M. Luc	BEAUFORT	DR CEREGE, Marseille	Examineur
M. François	BAUDIN	Prof. Université Pierre et Marie Curie	Examineur

Résumé

L'objectif de ce travail est de quantifier expérimentalement l'amplitude des déséquilibres isotopiques en oxygène dans la calcite des coccolithes. Les reconstitutions des températures des eaux océaniques de surface à partir des isotopes de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) des carbonates biogènes sont en effet potentiellement biaisées par la physiologie des producteurs. Cette thèse a pour but, pour les principaux taxons de coccolithophores actuels, d'établir les fonctions de transfert permettant d'utiliser le $\delta^{18}\text{O}$ enregistré dans la calcite en vue de reconstituer les températures en s'affranchissant des fractionnements biologiques (effets vitaux).

Pour ce faire, une double approche alliant cultures en laboratoire et analyses de sédiments subactuels (« core tops ») a été menée. Les fractionnements isotopiques déterminés en culture sont liés linéairement à la température de calcification, et se répartissent en deux « groupes isotopiques » de part et d'autre des conditions d'équilibre. Le groupe lourd est composé des espèces de la famille des Noelaerhabdaceae (*Emiliana huxleyi* et *Gephyrocapsa* spp.) tandis que le groupe léger regroupe l'ensemble des espèces du genre *Calcidiscus*. Nos cultures de *Coccolithus pelagicus* et *Thoracosphaera heimii*, un dinoflagellé calcaire, suggèrent l'absence d'effet vital en $\delta^{18}\text{O}$ pour ces taxons. L'approche sédimentologique, permise par le protocole de microfiltration appliqué à des sédiments récents (0 - 6 ka) a permis l'obtention d'un grand nombre de fractions monospécifiques en coccolithes et dinoflagellés calcaires. Les fractionnements isotopiques mesurés sur ces assemblages présentent un bon accord avec les données de cultures. Toutefois, si les intensités des fractionnements sont similaires entre cultures et milieu naturel, il reste que les variations saisonnières de la production et le biais qu'occasionne dans la calibration l'utilisation de températures moyennes annuelles modulent l'enregistrement de la température et entraînent une incertitude maximale de 2°C.

Un résultat important de ces travaux de thèse est la réévaluation à la baisse de l'amplitude interspécifique des fractionnements biologiques avec une valeur maximale de 3 ‰ contre les 5 ‰ précédemment documentés. L'origine du fractionnement en oxygène et carbone est discutée en termes *i*) de substrat utilisé pour la calcification, *ii*) de fractionnement lié à la photosynthèse et fractionnement de Rayleigh affectant l'isotopie du réservoir de carbone restant disponible pour la calcification, et *iii*) de temps de résidence du carbone inorganique dissous dans la cellule par rapport au temps nécessaire à son rééquilibrage isotopique.

Cette thèse présente pour conclure des résultats préliminaires de fractions à coccolithes isolés du dernier maximum glaciaire de l'Atlantique Nord. Sur la période allant de 24 à 10 ka, les températures des eaux de surface ont été déterminées à partir de fractions pures à *Gephyrocapsa* en utilisant l'équation de transfert déterminée dans le volet calibration de ce travail. Nous mettons en évidence un réchauffement progressif de 15 à 20 °C, ce qui est similaire aux estimations documentées à partir des alcénones dans cette région.

Ce travail permet de valoriser le signal isotopique en oxygène porté par les nannofossiles calcaires. A terme, ce développement permettra d'affiner les reconstitutions des températures océaniques au cours du Cénozoïque, soit par une démarche long-terme comme existant pour les foraminifères, soit court-terme pour mieux cerner l'évolution des températures des eaux de surface au cours d'événements climatiques majeurs.

Abstract

The objective of this work is to experimentally quantify the magnitude of oxygen isotope disequilibria into coccolithophorid calcite. Indeed, reconstructions of sea surface temperatures inferred from oxygen isotope composition ($\delta^{18}\text{O}$) of biogenic carbonates are potentially biased by the physiology of the producers. This thesis aims to present the transfer functions linking temperature and $\delta^{18}\text{O}$ for the main taxa of coccolithophores in a view of deciphering vital effect-free temperature estimates through analyses of monotaxic coccolith assemblages spanning the Cenozoic.

To this aim, a combined approach relying on laboratory cultures of haptophytes and dinoflagellates and analyses of core tops was conducted. The isotopic fractionation determined in culture are linearly related to the temperature of calcification, and are divided into two "isotopic groups" on both sides of the equilibrium conditions. The heavy group is comprises the species of the family Noelaerhabdaceae (*Emiliana huxleyi* and *Gephyrocapsa* spp.) while the light group includes all species of the genus *Calcidiscus*. Our cultures of *Coccolithus pelagicus* and *Thoracosphaera heimii*, a calcareous dinoflagellate, suggest no effect vital altering the $\delta^{18}\text{O}$ for these taxa. The sedimentological approach allowed by the protocol microfiltration applied to core top sediments (0-6 ka) allowed obtention of a large number of monospecific fractions of coccoliths and calcareous dinoflagellates. The isotopic fractionation measured on these assemblages show a good agreement with the culture data. However, if the trends are similar between cultures and the natural environment, the seasonal variation in the production of algae may alter our calibration relying on average annual temperatures, resulting in maximum uncertainties of 2 °C in temperature estimates.

An important result of this thesis is the downward revaluation of the interspecific vital effect with a maximum value of 3 ‰ compared to the 5 ‰ as previously documented. The origin of the fractionation in oxygen and carbon is discussed in terms of *i*) substrate used for calcification, *ii*) fractionation associated with photosynthesis and a Rayleigh fractionation affecting the isotopic composition of the remaining carbon pool available for the calcification, and *iii*) residence time of the dissolved inorganic carbon in the cell relative to the time required to reequilibrate its isotopes.

Lastly, this thesis presents preliminary results of coccolith fractions isolated from sediment spanning the last glacial maximum in the North Atlantic. During the period of 24-10 ka, temperatures of surface waters were determined from pure *Gephyrocapsa* fractions using the transfer equation determined in the calibration task of this work. We show a gradual warming from 15 to 20 °C, which is similar to estimates inferred from alkenones documented in this area.

This study enables to fully exploit the oxygen isotopic signal carried by the calcareous nannofossils. Ultimately, this development will refine the reconstructions of ocean temperatures during the Cenozoic, either by a long-term approach as existing for foraminifera, or by a short-term approach focused on major climatic events of the Cenozoic

