



HAL
open science

Paléothermométrie marine

Dominique Blamart, Marie-Alexandrine Sicre

► **To cite this version:**

Dominique Blamart, Marie-Alexandrine Sicre. Paléothermométrie marine. Le climat à découvert, CNRS Editions, pp.117-118, 2011. <hal-02961981>

HAL Id: hal-02961981

<https://hal.science/hal-02961981v1>

Submitted on 8 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

13. Paléothermométrie marine

Dominique Blamart et Marie-Alexandrine Sicre
p. 117-118

Les isotopes de l'oxygène

1 Pour reconstruire les climats du passé, les paléoclimatologues partent à la recherche d'indices climatiques gardés en mémoire dans l'océan. Ces « paléothermomètres » sont nombreux, principalement de nature carbonatée, et quasi exclusivement représentés par des minéraux d'origine biologique calcitiques ou aragonitiques. Le choix d'un paléothermomètre dépend de son ubiquité dans l'archive considérée mais aussi de l'écologie de l'organisme vivant ainsi que des modalités de croissance et de biominéralisation. Les températures de surface sont estimées à partir de l'analyse isotopique des foraminifères* planctoniques, des coraux dits tropicaux ou des mollusques de faible profondeur, tandis que les températures de fond sont obtenues à partir des foraminifères benthiques* ou des coraux profonds. Quel que soit le carbonate utilisé, toutes les reconstructions de température se basent sur l'équation proposée par Epstein *et al.* (1953) qui lie les valeurs de compositions du carbonate et de l'eau de mer à la température du milieu ambiant lors de la formation du squelette de l'animal suivant l'expression empirique (figure 1) :

$$2T^{\circ}\text{C} = 16,5 - 4,3 (\delta^{18}\text{O}_{\text{calcite}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}) + 0,14 (\delta^{18}\text{O}_{\text{calcite}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau}})^2$$

3 Pour établir cette équation (cf. IV-1), les auteurs ont mesuré les compositions isotopiques d'un mollusque bivalve et de l'eau de mer pour différentes températures de croissance. Cette équation étant à deux inconnues, il est nécessaire pour les études paléoclimatiques de faire une hypothèse sur la composition isotopique de l'eau de mer. Cette dernière dépend du volume d'eau stocké sur les calottes tempéréatures. La validité de cette équation ayant été vérifiée par de très nombreuses études, elle fut par la suite généralisée à l'ensemble des biocarbonates et en particulier les foraminifères. C'est ainsi qu'Emiliani, en analysant la composition isotopique de foraminifères planctoniques, a pu mettre en évidence des fluctuations récurrentes de la température des eaux de surface dans le Pacifique lors des derniers 800 000 ans. Et c'est grâce à cette approche que les variations de température et de taille des calottes polaires des cycles glaciaire-interglaciaires de la période du Pléistocène ont été mises en évidence dans le milieu océanique. Certaines archives climatiques, comme les coraux tropicaux, permettent une reconstitution des températures des eaux de surface avec une résolution annuelle voire mensuelle tout en mettant en évidence des phénomènes climatiques tels que « El Niño-La Niña ».

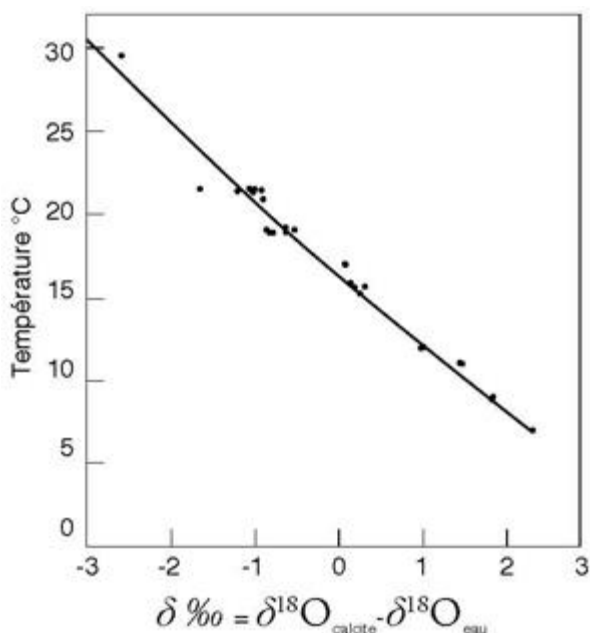


Fig. 1 – Calibration empirique d'Epstein montrant la dépendance en température des isotopes* de l'oxygène des biocarbonates. Epstein *et al.*, 1953.

4Cependant, la détermination de la température à partir de l'analyse des isotopes* de l'oxygène des biocarbonates se heurte parfois à des facteurs liés au métabolisme de l'organisme vivant que l'on qualifie « d'effets vitaux » et qui peuvent biaiser les résultats. Par conséquent, il convient de calibrer chaque espèce d'organisme vivant afin d'appréhender ces effets vitaux. Une nouvelle méthode dite des « clumped isotopes » vient ainsi de voir le jour. Elle permet d'établir la proportion de liaison $^{13}\text{C}-^{18}\text{O}$ dans un cristal de (bio) carbonate, cette proportion étant inversement proportionnelle au carré de la température. Cette méthode présente un avantage révolutionnaire sur la thermométrie « classique » $\delta^{18}\text{O}$ (cf. III-12) ; la grandeur thermodynamique que l'on mesure reflète un équilibre interne du cristal de carbonate et n'exige donc aucune connaissance de la composition isotopique de l'eau d'origine. Pour la première fois on est en mesure de déduire une paléotempérature uniquement à partir de l'analyse isotopique de l'échantillon de carbonate. De plus, comme le montrent les premières études, les effets vitaux ne seraient pas, pour le moment, détectables.

Le rapport Mg/Ca

5Lors de leur croissance, les biocarbonates sont susceptibles d'incorporer au sein du réseau cristallin des éléments chimiques en très faible quantité (« éléments en trace »). Un atome de Ca est substitué par un autre atome de rayon ionique quasiment équivalent, comme le magnésium. Les temps de résidence du Mg et du Ca dans l'océan étant supérieurs aux échelles d'études de la paléoclimatologie (< au million d'années en général), les rapports Mg/Ca dans les biocarbonates représentent bien des variations d'incorporation du Mg et non une variation de concentration de cet élément dans les eaux océaniques. Les mesures expérimentales ainsi que les analyses chimiques sur les tests de foraminifères ont mis en évidence une relation exponentielle entre le rapport Mg/Ca et la température $Mg/Ca = b \times \exp(a \times t)$. Les valeurs A et B étant spécifiques pour chaque espèce de foraminifère, une calibration entre les rapports Mg/Ca et la température est donc systématiquement requise. Par ailleurs, il convient de noter que le rapport mesuré dans un test de foraminifère est environ dix fois inférieur à celui de l'eau de mer, ce qui nécessite la mise en œuvre d'un protocole analytique très approfondi. La détermination de la température de surface ou de fond à partir de l'analyse des rapports Mg/Ca des foraminifères permet de déduire la valeur de $\delta^{18}\text{O}$ des eaux océaniques au cours du temps.

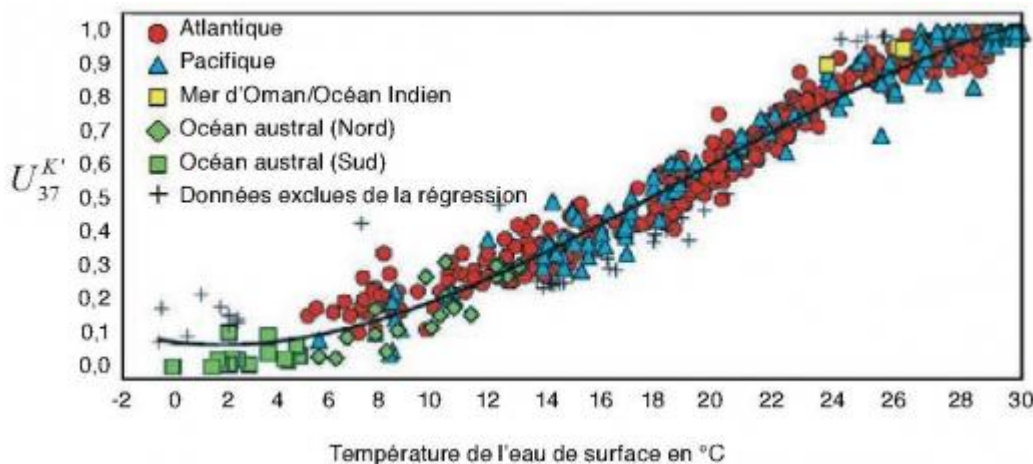


Fig. 2 – Courbe de calibration établie entre les valeurs de $U_{37}^{K'}$ et des températures des eaux de surface mesurées *in situ* dans différents bassins océaniques. Conte *et al.*, 2006

Les alcénones

Les alcénones* sont aujourd'hui des traceurs de la température de l'océan de surface fréquemment utilisés pour des reconstructions paléoclimatiques marines. Ces cétones à 37 atomes de carbone possédant 2, 3 ou 4 doubles liaisons sont principalement photosynthétisées par l'algue calcifiante, *E. huxleyi*, vivant dans l'océan de surface. Leur identification dans des sédiments* marins de l'Atlantique Nord a permis pour la première fois de remarquer un lien entre le degré d'insaturation $U_{37}^{K'}$ de ces molécules organiques et la température de croissance de l'algue. Des cultures réalisées à différentes températures ont confirmé cette hypothèse et fourni les premières données pour étalonner ce paléothermomètre et calculer la relation reliant $U_{37}^{K'}$ à la température. Dans les années qui suivirent, des prélèvements d'eau dans l'océan mondial ont confirmé les résultats obtenus en laboratoire et permis d'affiner la courbe d'étalonnage. On peut donc, à partir de cette courbe et d'une valeur d' $U_{37}^{K'}$ mesurée dans un sédiment marin, déduire la température des eaux de surface, à l'époque de leur dépôt au fond des océans. Les alcénones sont détectées dans les sédiments à toutes latitudes, mais on a noté leur absence à proximité de la glace de mer, en Antarctique, et dans l'hémisphère Nord, en mer de Laptev*. Ce traceur comme beaucoup d'autres est empreint d'un caractère saisonnier puisque la température enregistrée est celle de la saison de production de l'algue. Aux hautes latitudes, *E. huxleyi* se développe en été et les valeurs d' $U_{37}^{K'}$ des sédiments de régions polaires reflètent donc des températures estivales, alors que les sédiments de basses latitudes enregistrent des températures de fin d'hiver/début de printemps.

Bibliographie

Références bibliographiques

- M. H. CONTE *et al.* - « Global Temperature Calibration of the Alkenone Unsaturation Index (UK'37) in Surface Waters and Comparison with Surface Sediments », *G-Cubed*, 2006.
- S. EPSTEIN *et al.* - « Revised carbonate-water isotope temperature scale », *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1953.