

## Reconstitution du climat et de l'hydrographie au Mésozoïque par l'analyse géochimique multi-traceurs de coquilles marines (Résumé)

Les estimations de températures pour l'ère Mésozoïque s'appuient essentiellement sur l'étude de la composition en isotopes de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) des fossiles marins carbonatés. Ce traceur est basé sur la thermodépendance du fractionnement isotopique de l'oxygène entre les minéraux carbonatés et l'eau. Afin d'estimer des paléotempératures il faut donc émettre une hypothèse sur la valeur en  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau ( $\delta^{18}\text{O}_w$ ) des océans passés. Dans la littérature, cette valeur est souvent réduite à celle de l'océan global dans un monde sans glace, tel que l'était certainement le Mésozoïque, ignorant la variabilité spatiale et temporelle des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  déterminée par le cycle hydrologique et ses altérations aux cour de changements climatiques. Dans les dernières décennies d'autres paléothermomètres (Mg/Ca, clumped isotopes), indépendants des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  et appliqués aux carbonates de calcium, ont été proposés. Leur application au registre fossile permettrait d'estimer les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  des océans passé en utilisant la thermodépendance du fractionnement isotopique de l'oxygène entre les minéraux carbonaté et l'eau.

Des brachiopodes modernes ont été étudiés afin de vérifier la pertinence de ces paléothermomètres chez ce groupe. Ce nouveau jeu de donnée ne montre pas de relation entre le rapport Mg/Ca de la coquille et la température du milieu. Les clumped isotopes, ou « isotopes agglutinés » ( $\Delta_{47}$ ) montrent cependant une corrélation forte avec les températures du milieu malgré l'influence d'effets biologiques.

Le paléothermomètre  $\Delta_{47}$  a été appliqué au registre fossile pour résoudre la température et la valeur du  $\delta^{18}\text{O}_w$  des mers entre le Pliensbachien et le Toarcien (191-174 Ma). Cet intervalle de temps est marqué notamment par un réchauffement climatique majeur à la limite Pliensbachien-Toarcien. Une partie des échantillons étudiés enregistre des températures invraisemblablement élevées qui conduisent à des estimations des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  elles-mêmes invraisemblablement élevées. Ceci est la conséquence de la modification des valeurs de  $\Delta_{47}$  lors de l'enfouissement du fossile à des températures dépassant les  $\sim 50\text{-}60^\circ\text{C}$ , et ce sans altération apparente du minéral.

Les analyses des fossiles de brachiopodes et de mollusques les mieux préservés et les moins enfouis, provenant des latitudes polaires et moyennes latitudes du Jurassique inférieur, confirment la forte variabilité spatiale et temporelle des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$ . Les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  estimées pour cette période montrent un important gradient latitudinal. Comme de nos jours, les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  des régions arctiques étaient significativement plus basses que celles de l'océan global. Au contraire, les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  des eaux subtropicales étaient plus élevées que celles de l'océan global. Les nouvelles données de  $\Delta_{47}$  associées aux valeurs de  $\delta^{18}\text{O}$  d'os d'ichtyosaures endothermes homéothermes, confirment la variabilité spatiale et temporelle des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  au sein de la Tethys occidentale, liée à l'évènement climatique majeur du Toarcien inférieur.

Ces nouvelles données mettent à nouveau en évidence l'importance de la variabilité des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}_w$  dans les valeurs de  $\delta^{18}\text{O}$  du registre fossile, et appellent à une révision des interprétations de paléotempératures qui en sont issues.

## **Reconstruction of Mesozoic climate and hydrography using multidisciplinary geochemical analysis of marine shells (Abstract)**

Paleotemperature estimations for the Mesozoic era (252-66 Ma), rely largely on the oxygen isotope composition ( $\delta^{18}\text{O}$ ) of marine fossil carbonate shells, a proxy based on the thermodependence of oxygen isotope fractionation between carbonate minerals and water. Hence, estimating past temperatures necessitate to know the  $\delta^{18}\text{O}$  value of past water ( $\delta^{18}\text{O}_w$ ). Most  $\delta^{18}\text{O}$  paleotemperatures in the literature rely on an estimation of the  $\delta^{18}\text{O}_w$  value of the global ocean in the ice-free Mesozoic world global ocean but often ignore the spatial or temporal variability of  $\delta^{18}\text{O}_w$  values, governed by the hydrological cycle and its modification with climate changes. As highlighted by some recent studies, other geochemical paleothermometers independent from  $\delta^{18}\text{O}_w$  values (Mg/Ca, clumped isotopes) can be applied to carbonate fossils, and provide estimations of Mesozoic ocean  $\delta^{18}\text{O}_w$  values and their variations using the thermodependence of oxygen isotope fractionation.

Modern brachiopod shells were studied to verify the applicability of these paleothermometers on the group. The new dataset reveals no clear relationship between brachiopod shell Mg/Ca ratios and temperatures. However, the clumped isotopes provide a robust thermometer for brachiopod living environment despite small influence of biologic factors.

The carbonate clumped isotope ( $\Delta_{47}$ ) paleothermometer was applied to the fossil record to resolve marine temperatures and  $\delta^{18}\text{O}_w$  values during the Pliensbachian-Toarcian (191-174 Ma) an interval characterized especially by a major climate warming at the Pliensbachian-Toarcian boundary. Several samples recorded unrealistically high  $\Delta_{47}$  temperatures and yielded unrealistically high  $\delta^{18}\text{O}_w$  values, resulting from the modification of  $\Delta_{47}$  values when the fossil reach temperatures  $> 50 - 60^\circ\text{C}$  during its burial, even without apparent mineral alteration.

Well preserved shallowly buried mollusc and brachiopod fossils from polar paleolatitude or mid-latitude of the western Tethys confirmed suspected variations in  $\delta^{18}\text{O}_{sw}$  values. A significant latitudinal gradient in ocean  $\delta^{18}\text{O}_w$  values was present in the Early Jurassic, with polar  $\delta^{18}\text{O}_w$  values systematically lower and subtropical  $\delta^{18}\text{O}_w$  values higher than the global Mesozoic ocean. The clumped isotope data combined with the  $\delta^{18}\text{O}$  value of the endotherm homeotherm Ichthyosaurs, confirm spatial and temporal variations of  $\delta^{18}\text{O}_w$  within the western Tethys, associated with the major climate event of the early Toarcian.

These new results further highlight  $\delta^{18}\text{O}_w$  values as a major source of variability in the fossil  $\delta^{18}\text{O}$  record, which calls for a revision of the  $\delta^{18}\text{O}$  palaeotemperature record over the Mesozoic and beyond.