

THESIS ABSTRACT

Trace element and isotopic compositions of marine fossils and sediment were analyzed from several Miocene deposits in the circum-Alpine region in order to reconstruct the paleoceanographic and paleoclimatic changes related to sea level changes, basin evolution and Alpine orogeny. To the north and the east the Alps were border by an epicontinental sea, the Paratethys, while to the south the Mediterranean surrounded the uplifting mountains during the Miocene. The thesis mainly focused on sediments and fossils sampled from Miocene beds of these two oceanic provinces.

The north Alpine Molasse, the Vienna and Pannonian Basins were located in the Western and Central Paratethys. O-isotope compositions of well-preserved phosphatic fossils in these sediments support deposition under sub-tropical to warm-temperate climate with water temperatures between 14 to 28 °C for the Miocene. $\delta^{18}\text{O}$ values of fossil shark teeth from different horizons vary similarly to those of the global trend until the end of the Badenian, however the $\delta^{18}\text{O}$ values show wider range, which indicates local effects in the sub-basins. The trend of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the samples roughly agrees with an open ocean environment for the Miocene. Yet a number of samples deviate from typical open ocean compositions with higher ratios suggesting modification of seawater by local and old terrestrial sources. In contrast, two exceptional teeth from the locality of La Molière have extremely low $\delta^{18}\text{O}$ values and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. However, the REE patterns of their enameloid are similar to those of teeth having O and Sr isotopic compositions typical of a marine setting at this site. Collectively, this suggests that the two teeth formed while the sharks frequented a freshwater environment with very low ^{18}O -content and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ controlled by Mesozoic calcareous rocks. This is consistent with a paleogeography of high-elevation (~2300m) Miocene Alps adjacent to a marginal sea. The local effects are also reflected in the ϵ_{Nd} values of the Paratethyan fossils, which is compatible with input from ancient crystalline rocks and Mesozoic sediments, while other samples with elevated ϵ_{Nd} values indicate an influence of Neogene volcanism on the water budget. Excluding samples whose isotopic compositions reflect a local influence on the water column, an average ϵ_{Nd} value of -7.9 ± 0.5 may be inferred for the Paratethys seawater. This value is indistinguishable from the Miocene value of the Indian Ocean, supporting a dominant role of Indo-Pacific water masses in the Paratethys.

Regarding the Mediterranean, stable C- and O-isotope compositions of benthic and planktonic foraminifera from the Umbria-Marche region (UMC) have an offset typical for their habitats and the changes in composition mimic global changes, suggesting that the regional conditions of climate and the carbon cycle were controlled by global changes. The radiogenic isotope compositions of the fossil assemblages allow for distinction of periods. From 25 to 19 Ma, high ϵ_{Nd} values and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of sediments and fossils support intense tectonism and volcanism, related to the opening of the western Mediterranean. Between 19 and 13 Ma the Mediterranean has ϵ_{Nd} values that are largely controlled by incursion of Indian Ocean water. Brief periods of local hinterland control on seawater compositions are indicated by spikes in the ϵ_{Nd} record, coinciding with volcanic events and a short sea-level decrease at about 15.2 Ma. Lower $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ compared to the open ocean is compatible with rapid uplift of the hinterland and intense influx of Sr from Mesozoic carbonates of the western Apennines, while higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for other sites indicates erosion of old crustal silicate rocks. Finally, from 13 to 7 Ma the fossils have $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similar to those of Miocene seawater and their ϵ_{Nd} values indicates fluctuating influence of Atlantic, and Indian Ocean or Paratethys sources of seawater entering the Mediterranean, driven by global sea-level changes and local tectonism.

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Les compositions en éléments traces et isotopiques de fossiles marins et de sédiments ont été analysées à partir de nombreux dépôts marins dans la région circum Alpine dans le but de reconstruire les changements paléocéanographiques et paléoclimatiques liés aux changements du niveau marin, à l'évolution en bassins et à l'orogénie alpine. Au nord et à l'est des Alpes, une mer épicontinentale appelée Paratéthys s'est ouverte, alors que plus au sud la mer Méditerranée bordait au Miocène les Alpes naissantes. Le but de cette recherche est de se concentrer sur les sédiments et les fossiles provenant des couches du Miocène de ces deux provinces marines.

Les bassins de la Molasse Alpine du nord, de Vienne et Pannonien étaient situés au niveau de la Paratéthys Occidentale et Centrale. Les compositions isotopiques de l'oxygène de fossiles phosphatés bien préservés dans ces sédiments étayaient la théorie d'un dépôt sous un climat subtropical à tempéré chaud avec des températures entre 14 et 28°C pendant le Miocène. Les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des fossiles sont similaires à la tendance globale jusqu'à la fin du Badénien. Cependant les larges fluctuations en $\delta^{18}\text{O}$ indiquent des effets locaux au niveau des sous bassins. En outre, deux dents de requin exceptionnelles présentent des valeurs extrêmement basses de $\delta^{18}\text{O}$. Ces données suggèrent que ces deux dents se sont formées alors que les requins fréquentaient un environnement d'eau douce avec de faibles valeurs de ^{18}O . Le calcul de la composition isotopique de l'oxygène de cette eau douce permet d'obtenir une estimation de la paléoélévation moyenne des Alpes du Miocène (~2300m). La tendance $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pour ces échantillons concorde approximativement avec un environnement d'océan ouvert au cours du Miocène. Toutefois un nombre d'échantillons dévie des compositions d'océan ouvert typiques, avec des rapports élevés suggérant des modifications de l'eau de mer par des sources locales et terrestres. Les effets locaux sont aussi reflétés au niveau des valeurs en ϵ_{Nd} des fossiles paratéthysiens. Ceci est cohérent avec un apport d'anciennes roches cristallines et de sédiments mésozoïques, tandis que d'autres échantillons avec des valeurs hautes de ϵ_{Nd} indiquent une influence d'un volcanisme néogène dans le budget marin. En excluant les échantillons dont les compositions isotopiques confirment une influence locale, une valeur moyenne de ϵ_{Nd} de -7.9 ± 0.5 peut être déduite pour l'eau de la Paratéthys. Cette valeur est semblable à la valeur correspondant à l'Océan Indien durant le Miocène, confirmant un rôle dominant de cet océan dans la Paratéthys.

Au niveau de la Méditerranée, les compositions en isotopes stables du Carbone et de l'Oxygène de foraminifères planctoniques et benthique de la région Umbria-Marche présentent un offset typique à leurs habitats. De plus les changements dans leurs compositions suivent les changements globaux, suggérant ainsi que les conditions climatiques régionales et le cycle du carbone étaient contrôlés par des phénomènes globaux. La composition en isotopes radiogéniques d'assemblages fossiles permet une reconnaissance sur trois périodes distinctes. De 25 à 19 millions d'années (Ma), des valeurs élevées de ϵ_{Nd} et un faible rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les sédiments soutiennent l'idée d'une activité tectonique et volcanique intense, liée à l'ouverture de la Méditerranée occidentale. Entre 19 et 13 Ma, la Méditerranée montre des valeurs de ϵ_{Nd} qui sont largement contrôlées par une incursion d'eau provenant de l'Océan Indien. En effet, aux alentours de 15,2 Ma, des pics dans l'enregistrement des valeurs de ϵ_{Nd} , coïncidant avec des événements volcaniques et de brèves diminutions du niveau marin. Enfin, de 13 à 7 Ma, les fossiles ont des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similaires à ceux de l'eau de mer au Miocène. Leurs valeurs de ϵ_{Nd} indiquent une influence changeante de l'océan Atlantique, et de l'océan Indien ou des sources d'eau de mer de la Paratéthys qui entrent dans les bassins méditerranéens. Ce changement est guidé par des modifications globales du niveau marin et par la tectonique locale.

RÉSUMÉ DE LA THÈSE (POUR LE GRAND PUBLIC)

Les analyses des compositions en éléments traces et isotopiques des fossiles marins sont un outil très utile pour reconstruire les conditions océaniques et climatiques anciennes. Ce travail de thèse se concentre sur les sédiments déposés dans un environnement marin proches des Alpes au cours du Miocène, entre 23 et 7 millions d'années (Ma). Cette période est caractérisée par une tectonique alpine active, ainsi que par des changements climatiques et océanographiques globaux importants. Dans le but de tracer ces changements, les compositions isotopiques du Strontium, du Néodyme, de l'Oxygène et du Carbone ont été analysées dans des fossiles bien préservés ainsi que les sédiments contemporains. Les échantillons proviennent de deux provinces océaniques distinctes, la première est la Mer Méditerranée, et l'autre est une mer épicontinentale appelée Parathétys, qui existait au nord et à l'est des Alpes durant le Miocène.

Au niveau de la Parathétys Occidentale et Orientale, les compositions isotopiques d'oxygène de dents de requins confirment un dépôt sous un climat subtropical à tempéré chaud avec des températures d'eau entre 14 et 28°C au Miocène. En outre, deux dents de requins exceptionnelles ont enregistré des compositions isotopiques d'oxygène extrêmement basses. Cela suggère que ces deux dents se sont formées alors que les requins entraient dans un système d'eau douce. Le calcul de la composition isotopique de l'oxygène de cette eau douce permet d'obtenir une estimation de la paléoélévation des Alpes au Miocène qui est aussi élevée que celle d'aujourd'hui. La tendance isotopique du Strontium pour ces échantillons concorde approximativement avec un environnement d'océan ouvert. Cependant un certain nombre d'échantillons indique des modifications de l'eau de mer par des sources terrestres locales. Les effets locaux sont aussi visibles au niveau des compositions isotopiques du Néodyme, qui sont en accord avec un apport provenant de roches cristallines anciennes et de sédiments du Mésozoïque, alors que d'autres échantillons indiquent une influence volcanique néogène dans le budget marin. A l'exclusion des échantillons dont les compositions correspondent à une influence locale, les compositions isotopiques du Néodyme de la Parathétys sont très similaires aux valeurs de l'Océan Indien, montrant ainsi un rôle important des masses d'eau IndoPacifiques dans cette région.

Au niveau de la Méditerranée, les compositions en isotopes stables du Carbone et de l'Oxygène de foraminifères planctoniques et benthique de la région Umbria-Marche présentent un offset typique à leurs habitats. De plus, les changements dans leurs compositions suivent les changements globaux, suggérant ainsi que les conditions climatiques régionales et le cycle du carbone étaient contrôlés par des phénomènes globaux. La composition en isotopes radiogéniques d'assemblages fossiles permet une reconnaissance sur trois périodes distinctes. De 25 à 19 Ma, des rapport isotopiques élevés pour le Néodyme et faibles pour le Strontium dans les sédiments et les fossiles soutiennent l'idée d'une activité tectonique et volcanique intense, liée à l'ouverture de la Méditerranée occidentale. Entre 19 et 13 Ma, la Méditerranée présente des rapports isotopiques du Néodyme qui sont largement contrôlés par une incursion d'eau provenant de l'Océan Indien. En effet, aux alentours de 15,2 Ma, des pics dans l'enregistrement des valeurs des isotopes du Néodyme coïncident avec des événements volcaniques et de brèves diminutions du niveau marin. Finalement, de 13 à 7 Ma, les fossiles ont des rapports isotope Strontium similaires à ceux de l'eau de mer au Miocène. Les rapports isotopiques du Néodyme indiquent une influence changeante de l'océan Atlantique, et de l'océan Indien ou des sources d'eau de mer de la Parathétys qui entrent dans les bassins méditerranéens. Ce changement est guidé par des modifications globales du niveau marin et par la tectonique locale.

