

Exercice : utilisation paléoécologique des compositions isotopiques de l'oxygène dans les tissus phosphatés de Vertébrés

D'après J-P. Billon-Bruyat *et al.*, *Palaeogeog. Palaeoclim Palaeoecol.* 216, 2005

Contexte :

Les sites européens, tous datés du Jurassique, de Cerin (Kimmeridgien supérieur - Tithonien inférieur), Crayssac (Tithonien inférieur), Canjuers (Tithonien inférieur) ou Solnhofen (Tithonien inférieur) ont livré des fossiles exceptionnels. Les analyses sédimentologiques et géologiques de ces sites indiquent qu'ils correspondaient à des environnements côtiers protégés où se déposaient des calcaires très fins. L'analyse isotopique de restes de Vertébrés aquatiques retrouvés sur ces sites vise à mieux comprendre le mode de vie de ces espèces dans ce contexte général.

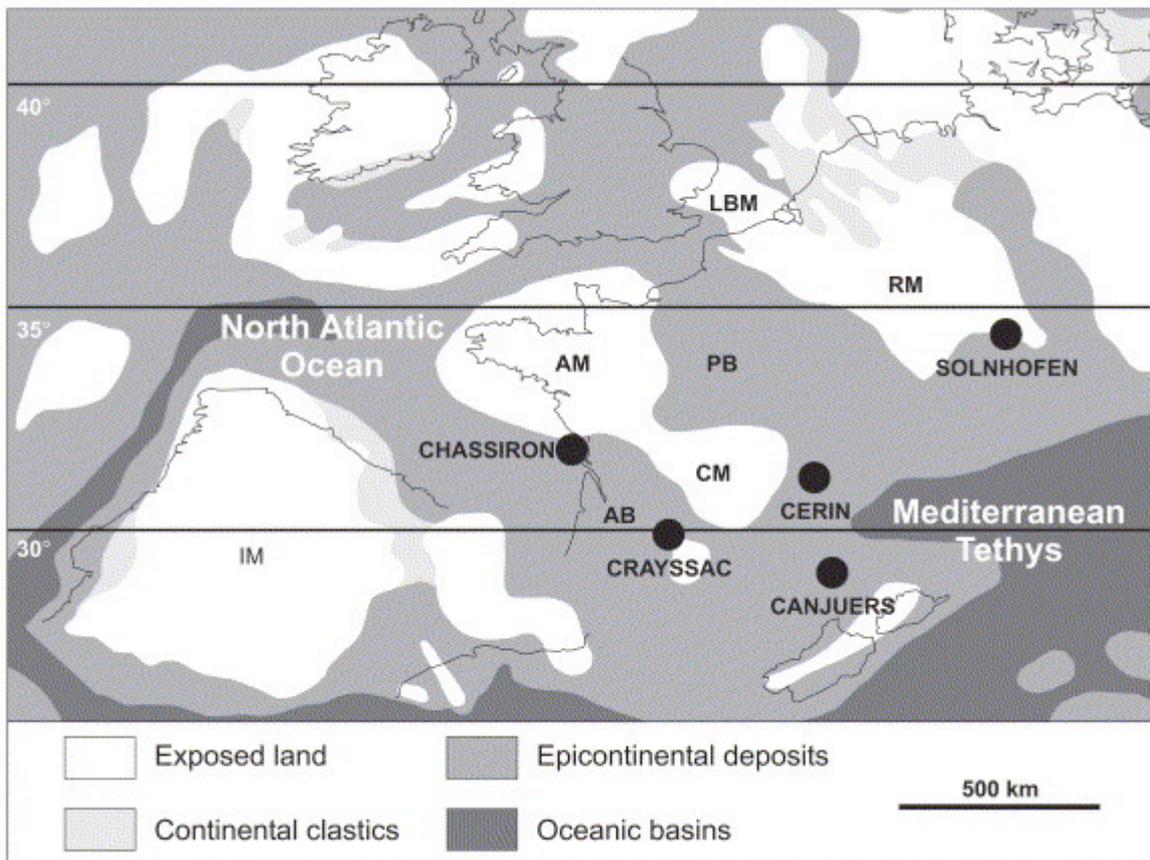


Figure 1 - Carte paléogéographique de l'Europe occidentale au Jurassique, environnements de dépôts et localisation des sites considérés ici.

L'objectif de l'étude est de comparer les données issues de différents vertébrés : poissons, crocodiles et tortues.

Pour tous ces animaux aquatiques, on suppose que les valeurs isotopiques de l'oxygène des tissus phosphatés sont principalement contrôlées par la composition isotopique de l'eau

absorbée (à priori l'eau du milieu) et par la température. Tous ces animaux étant hétérothermes, leur température est supposée identique à celle du milieu.

Énoncé :

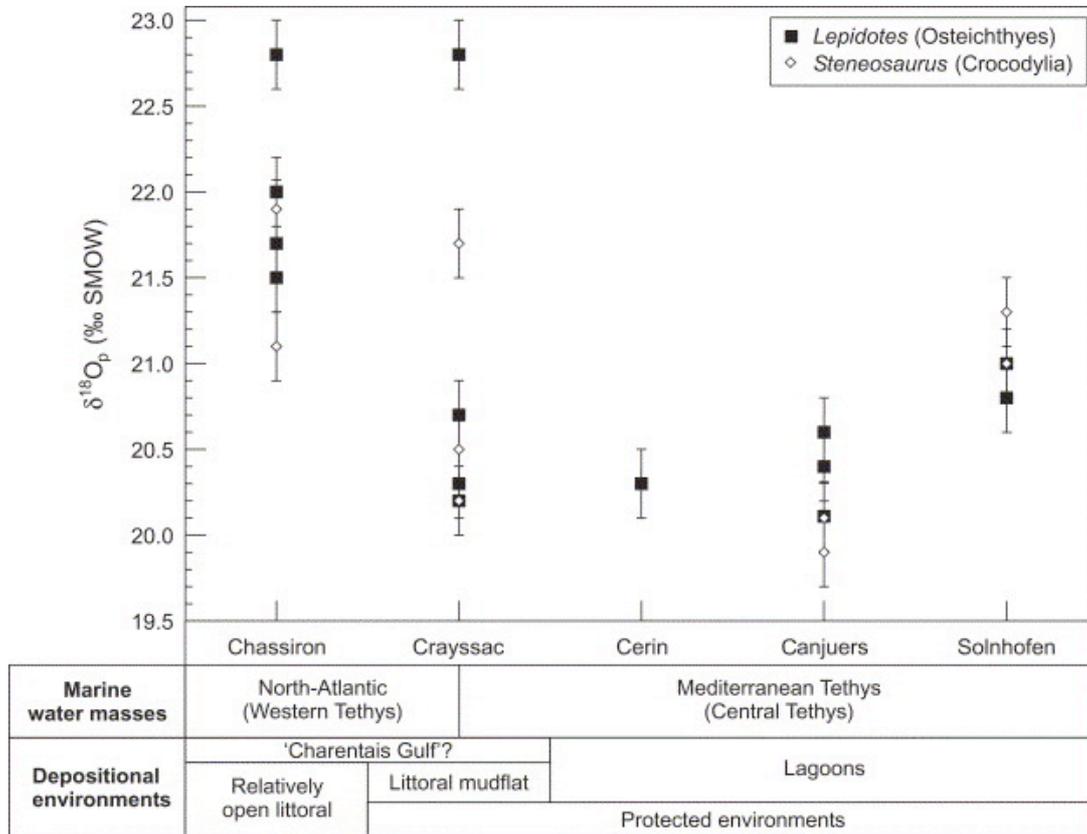


Figure 2 - valeurs isotopiques d'un poisson ostéichthyen (*Lepidotes*) et d'un crocodile (*Steneosaurus*) retrouvés sur les quatre sites d'étude. On précise les environnements des sites déduits des données sédimentologiques.

Question 1 : commenter les résultats de la figure 2. Quelles explications pourriez-vous proposer aux résultats du site de Crayssac ?

Deux groupes de valeurs apparaissent. Valeurs élevées (22-23 ‰) à Chassiron et Crayssac, plus basses (20-21 ‰) pour les trois autres sites. On peut interpréter ces résultats comme la trace de masses d'eau différentes (de températures différentes), Atlantique Nord d'une part, plus froide, Téthys, plus chaude, d'autre part. Dans ce cas, l'obtention des deux gammes de valeurs à Crayssac signifierait que la faune aquatique échantillonnée sur ce site est constituée d'un mélange d'espèces atlantiques et téthysiennes. Crayssac serait donc une zone influencée par les deux réservoirs d'eaux. La position paléogéographique de Crayssac (figure 1) est en accord avec cette interprétation.

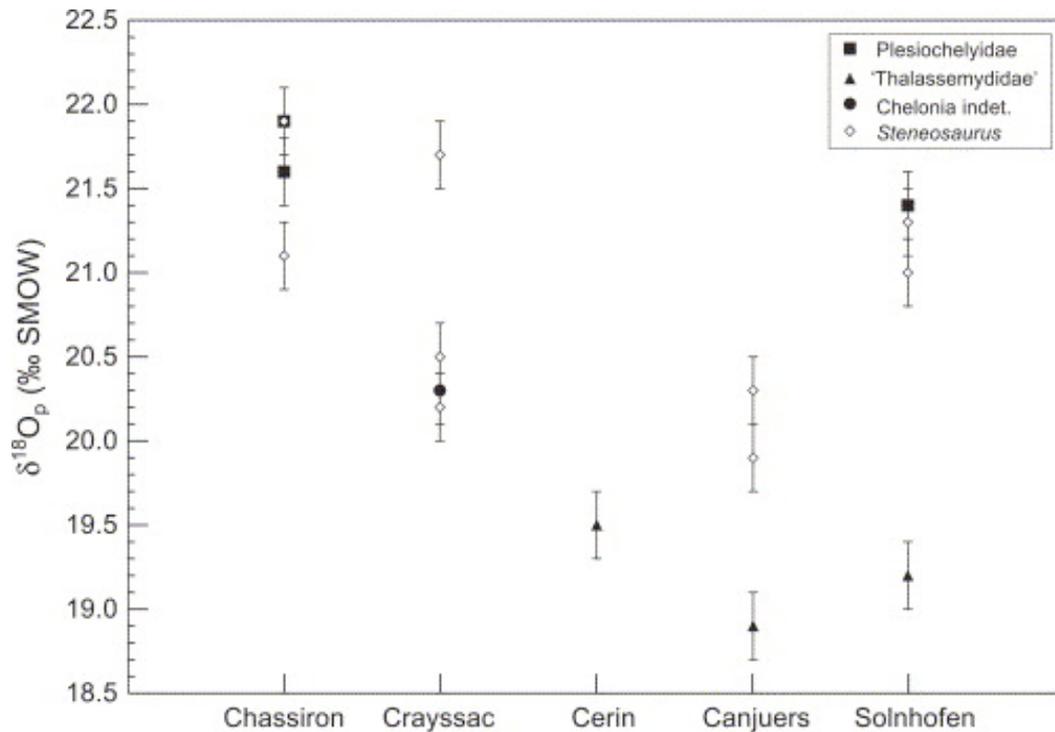


Figure 3 - Valeurs isotopiques des tortues (*Plesiochelyidae*, '*Thalassemydidae*' et tortue indéterminée) et des crocodiliens (*Steneosaurus*) retrouvées sur les quatre sites.

Question 2 : commenter les résultats de la figure 3.

La différence de valeurs isotopiques entre les sites d'échantillonnage, obtenues sur les animaux strictement aquatiques (figure 2), se retrouve dans les os des tortues. Par contre, les individus de Crayssac présentent des valeurs plus proches de celles de Chassiron et surtout plusieurs espèces de Tortues du site de Solnhofen présentent des valeurs anormalement élevées pour ce site. Si l'on suppose que le site de Solnhofen n'est pas influencé par les masses d'eau nord-atlantiques, il faut alors supposer :

- soit que les tortues échantillonnées sont des immigrés venant d'une région plus proche de l'Atlantique Nord ou ayant pour source de nourriture et donc pour source d'eau des animaux immigrés
- - soit que les eaux fréquentées par ces animaux ne sont pas identiques à celles des espèces aquatiques mais sont enrichies en oxygène 18 par un apport d'eau de signature isotopique et/ou de température différente.

Une relation reliant le fractionnement isotopique entre phosphate et eau et la température, obtenue sur des poissons actuels, permet de remonter à une valeur de la température de l'eau à partir des valeurs du phosphate.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 113,3 - 4,38 \cdot (\delta^{18}\text{O}_p - \delta^{18}\text{O}_e) \quad (\text{Luz et Kolodny, 1983})$$

Avec $\delta^{18}\text{O}_p$: valeur isotopique du phosphate et $\delta^{18}\text{O}_e$: valeur de l'eau

Question 3 : le Jurassique supérieur ne présente aucun indice de calotte glaciaire. Quelle pouvait être alors la valeur isotopique moyenne de l'océan par rapport à la valeur actuelle de 0‰ ?

Les calottes glaciaires stockent de l'eau appauvrie en oxygène 18 ($\delta^{18}\text{O}$ très négatifs). En leur absence, les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ des océans étaient donc plus basses qu'actuellement. La valeur moyenne du $\delta^{18}\text{O}$ des océans correspond au SMOW, et vaut donc zéro. Au Jurassique et au Crétacé, on considère que les océans avaient une valeur isotopique moyenne de -1 ‰.

Question 4 : en faisant l'hypothèse que cette valeur est valable pour les eaux superficielles de la Téthys comme de l'Atlantique Nord, calculez les valeurs de la température des eaux en utilisant les valeurs isotopiques du phosphate des poissons *Lepidotes* indiquées sur la figure 2.

Les températures obtenues pour les poissons *Lepidotes* à l'aide de l'équation ci-dessus, en prenant -1‰ pour valeur de $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$, vont de 9 à 17°C à Chassiron, de 9 à ~20°C à Crayssac et de 17 à 20,4°C pour les autres sites.

Une étude isotopique de tortues actuelles a permis de proposer pour ces animaux une relation simple entre composition isotopique du phosphate des os et eau du milieu (ou eau absorbée) :

$$\delta^{18}\text{O}_e = 1,01 \cdot \delta^{18}\text{O}_p - 22,3 \quad (\text{Barrick } et \text{ al.}, 1999)$$

Question 5 : à l'aide de la figure 3 et de cette nouvelle équation (et en appliquant à nouveau le principe de l'actualisme), calculez les valeurs isotopiques de l'eau absorbée par ces différentes tortues jurassiques.

	Chassiron	Crayssac	Cerin	Canjuers	Solnhofen
$\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ (‰)	-0,28 à -0,69	-1,797	-2,6	-3,11	-2,9 et ~ -0,89

Question 6 : comparez ces résultats à l'hypothèse utilisée pour la question 4.

Les valeurs obtenues sont proches de -1‰ à Chassiron, Crayssac et Solnhofen (valeurs les plus élevées) mais beaucoup plus basses à Cerin, Canjuers et Solnhofen (valeurs basses), ce qui conforte encore l'hypothèse proposée à la question 2 d'un apport d'eau externe (*i.e.* non-océanique) sur ces sites.

Les différences isotopiques de $\delta^{18}\text{O}_e$ ainsi quantifiées entre les sites excèdent les variations naturelles du $\delta^{18}\text{O}_e$ de l'océan à une latitude donnée, estimées par ailleurs pour cette période. Par ailleurs, les sites de Canjuers, Cerin et Solnhofen présentent quelques dépôts terrigènes, issus d'arrivée sporadiques d'eau douce.

Question 7 : quels processus, ou quelles conditions de milieu, pouvez-vous proposer pour expliquer les valeurs isotopiques de l'eau obtenues à partir des données isotopiques des tortues ?

Les sites de Canjuers, Cerin et Solnhofen, pourraient recevoir des eaux douces issues des continents et provenant par conséquent de précipitations continentales appauvries en ^{18}O par les processus d'évaporation et de condensation survenues au cours du trajet des nuages. La présence de dépôts terrigènes, donc issus d'apports sédimentaires continentaux, conforte cette hypothèse. Ces sites correspondraient donc à des milieux de lagune, avec des eaux issues d'un mélange d'eau océanique et d'eaux douces et par conséquent des salinités intermédiaires entre celle de ces deux pôles. Les valeurs isotopiques de l'oxygène deviennent alors des

indicateurs de salinité de l'eau du milieu. Les valeurs assez élevées de Chassiron pourraient s'expliquer, quant à elles, par des enrichissements de l'eau en ^{18}O par des processus d'évaporation qui enrichissent l'eau liquide restante en isotope lourd.

Question 8 : au Jurassique, les représentants du groupe des Tortues ne présentaient encore aucun représentant strictement adapté au milieu marin. Comment pourriez-vous alors interpréter les résultats obtenus pour les tortues Plésiochelidae de Solnhofen et de Chassiron ?

Les tortues jurassiques n'étant pas adaptées au milieu marin, les valeurs isotopiques proches des valeurs océaniques obtenues pour les tortues de Chassiron et de Solnhofen peuvent difficilement s'expliquer par une immigration des tortues sur ces sites à la suite d'un trajet dans l'océan. Par contre, on peut envisager que ces animaux se nourrissaient de poissons qui, eux, présentaient des valeurs isotopiques de l'eau du corps identiques à celles de l'eau de mer. Les valeurs isotopiques des tortues reflèteraient alors un régime alimentaire comprenant une part importante de poissons pélagiques piégés dans ces lagunes.