

4 L'enregistrement isotopique des variations du cycle du C au cours des temps géologiques

4.1. Les archives isotopiques

L'essentiel du Cinorganique superficiel est stocké sous forme de HCO_3^- dans les océans. Le HCO_3^- est en équilibre isotopique avec le CO_2 de l'atmosphère.

$\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique : dépend du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 atmosphérique ou dissous, mais aussi des processus biologiques de fixation (en particulier, influence de la PCO_2). Donc peu précis pour tracer les variations du cycle externe du carbone.

$\delta^{13}\text{C}$ des Carbonates : enregistrent le $\delta^{13}\text{C}$ du DIC des eaux à partir desquelles ils précipitent avec un fractionnement isotopique mineur de 1‰. Très fiable pour tracer les variations du cycle externe du carbone.

Ces relations isotopiques entre la matière organique, les carbonates le HCO_3^- et le CO_2 atmosphérique sont synthétisées dans un schéma (**Figure 4**).

La conséquence d'une variation de la composition isotopique du $\delta^{13}\text{C}$ du C superficiel est une variation identique du $\delta^{13}\text{C}$ de la calcite et de la matière organique.

Si ce n'est pas le cas, cela indique une modification du fractionnement isotopique lié à la synthèse de MO.

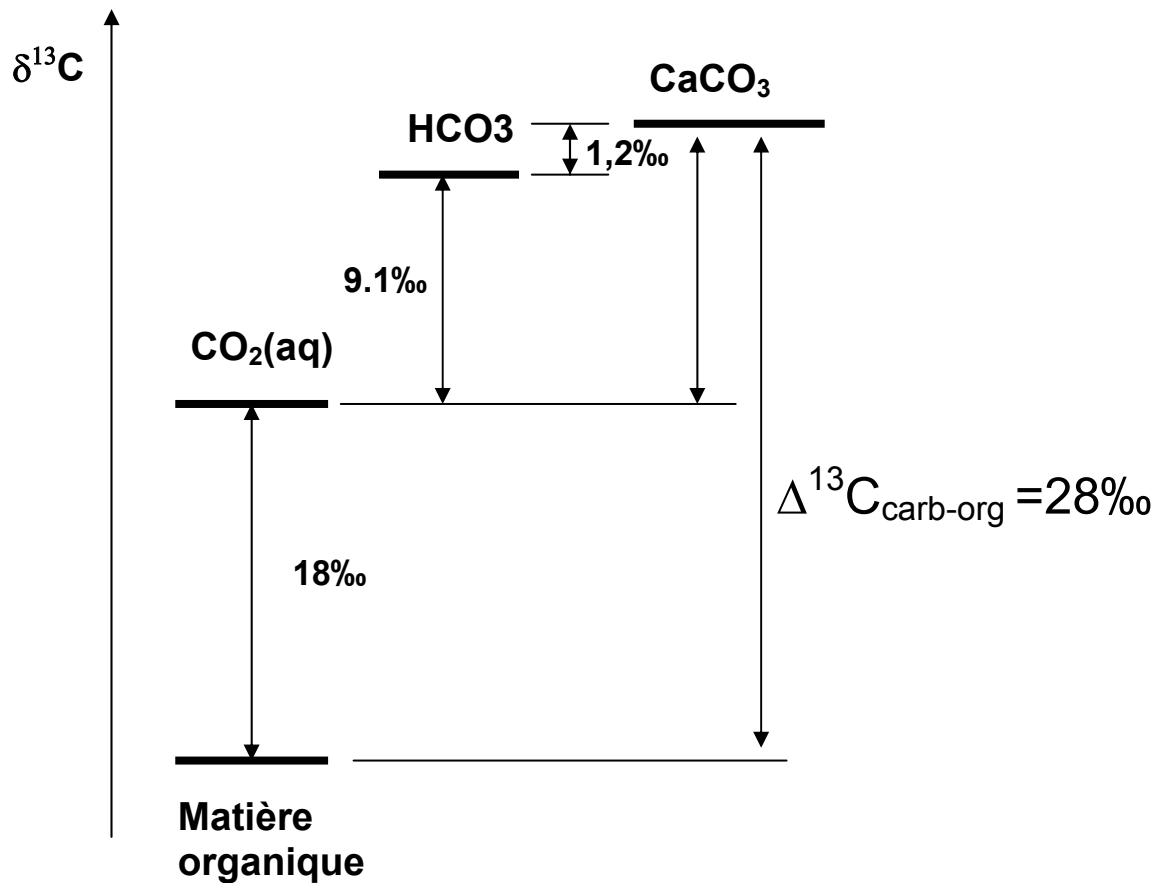


Figure 4 - Schéma des relations isotopiques entre le CO_2 dissous, le HCO_3^- , les carbonates, la production primaire et la matière organique sédimentaire.

4.2. Notion de bilan massique et isotopique

En faisant l'approximation qu'à un moment donné de l'histoire de la Terre, tout le carbone entrant (volcanisme) est transformé soit en kérogène soit en carbonate, on peut écrire l'équation de bilan massique et isotopique suivante :

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{magmatique}} = f_0 \delta^{13}\text{C}_{\text{org}} + (1-f_0) \delta^{13}\text{C}_{\text{carbonates}}$$

f_0 étant la fraction de carbone stockée sous forme de matière organique.

Au début, s'il n'y avait pas de production de matière organique on s'attend à ce que le $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates soit de -5‰ .

4.3. Synthèse des variations de $\delta^{13}C_{carb}$ et $\delta^{13}C_{org}$ au cours des temps géologiques (**Figure 5**)

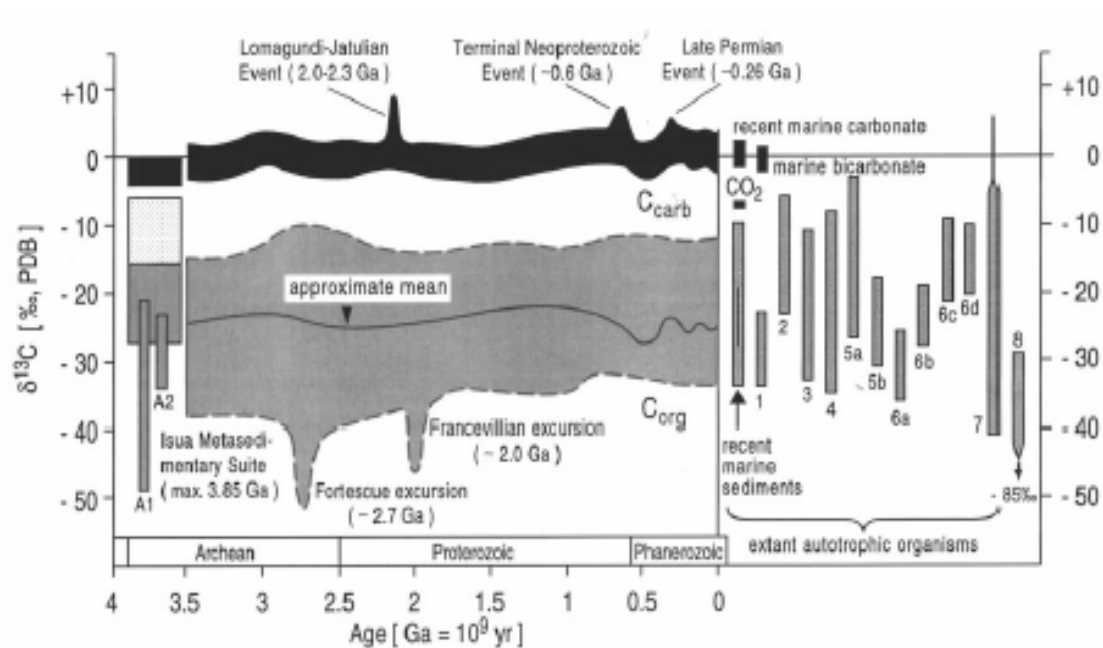


Figure 5 - Variations du $\delta^{13}C_{carb}$ et $\delta^{13}C_{org}$ au cours des temps géologiques

Description de l'enregistrement :

Au premier ordre, le $\delta^{13}C$ des carbonates tourne autour de 0‰ depuis 3.5 Ga. Le $\delta^{13}C$ de la matière organique est beaucoup plus dispersé, tout en étant en moyenne assez constant autour de -25‰.

Le fait que le $\delta^{13}C$ de la matière organique soit très dispersé indique que les fractionnements isotopiques biologiques sont relativement moins fiables pour enregistrer le $\delta^{13}C$ superficiel. Ils varient en fonction de paramètres métaboliques et physiologiques.

Calcul des proportions moyennes de MO et des carbonates fossilisés en utilisant l'équation bilan du 2.2 : 0.2 et 0.8 Ga.

Ces proportions n'auraient pas varié depuis 3.5Ga. Ce qui est assez étonnant en soit au vu de l'évolution de la biosphère et des modes et lieu de précipitation des carbonates depuis 3.5Ga.

Attention ces proportions ne donnent pas d'indication sur la quantité de matière organique fossilisée, mais sur sa proportion relative !

4.4. Excursion négative du $\delta^{13}C_{org}$ à 2.7Ga et 2.0 Ga

Ces excursions ne sont pas accompagnées d'excursions du $\delta^{13}C$ des carbonates. Cela signifie qu'elles ne traduisent pas une variation du $\delta^{13}C$ de système océan-atmosphère, mais un fractionnement anormal lié à l'assimilation de carbone.

La **Figure 6** donne les gammes de $\delta^{13}C$ des différents types d'organismes.

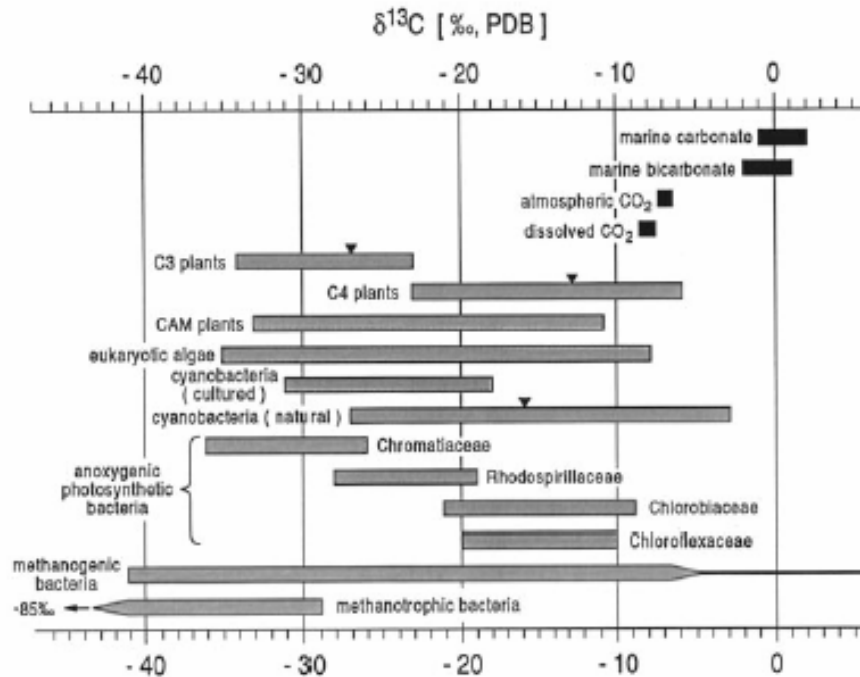
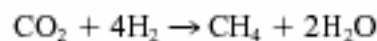
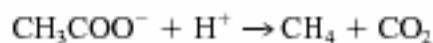


Figure 6 - Composition isotopique du carbone produit par les principaux groupes de microorganismes autotrophes et de végétaux, comparée aux signatures de carbone inorganique (en noir) (Schidlowski, 2001).

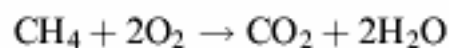
On voit que seule la gamme des bactéries méthanotrophiques permet d'atteindre des valeurs très négatives.

Composition isotopique du méthane généré par méthanogenèse :



$\delta^{13}\text{C}$ CH₄: environ -60‰

Composition isotopique de la biomasse méthanotrophe : -70‰



Les excursions négatives du $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique NON associées à des excursions du $\delta^{13}\text{C}$ carb sont donc interprétées comme dues à une forte contribution de biomasse issue de la méthanotrophie.

Un simple calcul de bilan de masse permet de proposer que la fraction de biomasse méthanotrophe soit de

$$\begin{aligned}\delta^{13}\text{C MO} &= (1-X_{\text{meth}}) \cdot \delta^{13}\text{C rub} + X_{\text{meth}} \cdot \delta^{13}\text{C methano} \\ -50 &= (1-X_{\text{meth}}) \cdot (-25) + X_{\text{meth}} \cdot (-70) \\ 45X_{\text{meth}} &= -25+50=25 \\ X_{\text{meth}} &= 25/45=5/9\end{aligned}$$

Ces excursions négatives impliquent la genèse de méthane ET la consommation du méthane (donc présence d'un oxydant).

La fin de ces excursions négatives implique une diminution de la biomasse méthanotrophe.

Donc, soit la disparition de l'oxydant, soit la diminution de la méthanotrophie, soit l'augmentation d'autres types de biomasses qui diluent le signal de la biomasse méthanotrophique.

4.5. Excursions positives du $\delta^{13}\text{C}$ carb à 2.3 Ga, 700-600 Ma et 300 Ma.

Depuis 3.5 Ga, il y a trois principales excursions positives du $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates qui sont associées à des excursions positives de la matière organique.

Ces excursions traduisent une augmentation de la proportion de ^{12}C retirée au système océan-atmosphère.

Ce qui fait varier au premier ordre le $\delta^{13}\text{C}$ du Carbone superficiel (DIC et CO_2 atmosphérique) est la proportion de carbone organique et de carbonates produits.

Calcul A FAIRE en utilisant le bilan massique défini en 2.2 de la proportion de matière organique enfouie lors de ces excursions positives du $\delta^{13}\text{C}$:

Le $\delta^{13}\text{C}$ est donc bien un marqueur de l'enfouissement de MO ; donc un marqueur indirect de l'évolution du cycle du carbone et de la biosphère.