

**LES ISOTOPES STABLES :
TRAÇAGES DES SOURCES,
PROCESSUS TERRESTRES
ET PALEOTEMPERATURES.**

**Informations apportées
par les isotopes stables**

- La température d'équilibre entre les minéraux ou des fluides hydrothermaux et des minéraux
- L'origine des fluides géologiques et des roches
- Les processus physiques et chimiques qui affectent les roches et les fluides comme le dégazage, évaporation, échanges, ...

Les isotopes de l'oxygène

L'oxygène

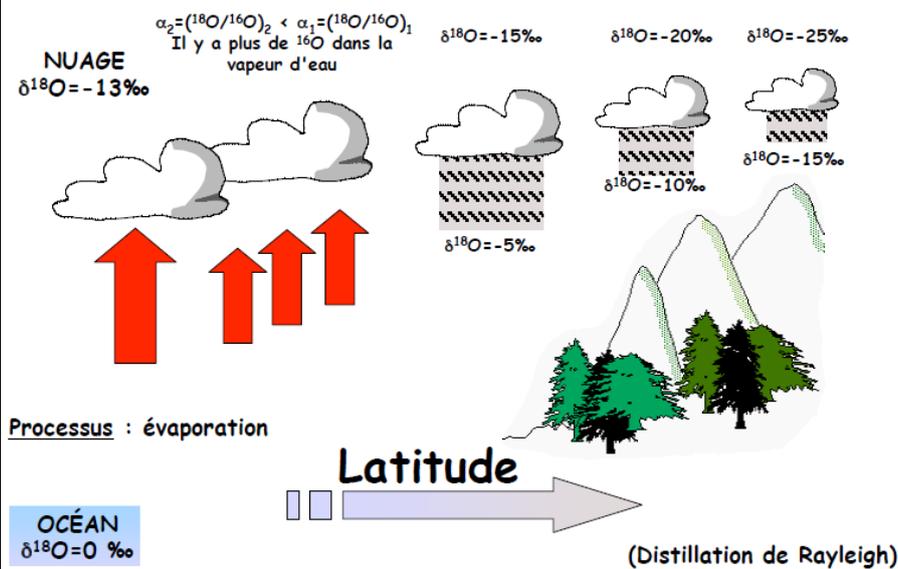
- élément le plus abondant sur la Terre
- possède 3 isotopes :
 - ^{16}O = 99,763 %
 - ^{17}O = 0,037 %
 - ^{18}O = 0,199%
- On utilise le $\delta^{18}\text{O}$
- Variations : entre -40 et +40 ‰

Les isotopes de l'hydrogène

L'hydrogène

- élément omniprésent (H_2O , CH_4 , manteau, ...)
- possède 3 isotopes :
 - 1H = 99,98%
 - 2H (deutérium) = 0,01%
 - 3H (tritium) est radioactif (12,5 ans)
- le plus léger des éléments et celui dont le contraste de masse entre deux isotopes est le plus grand
- Variations : entre -350 et +50 ‰

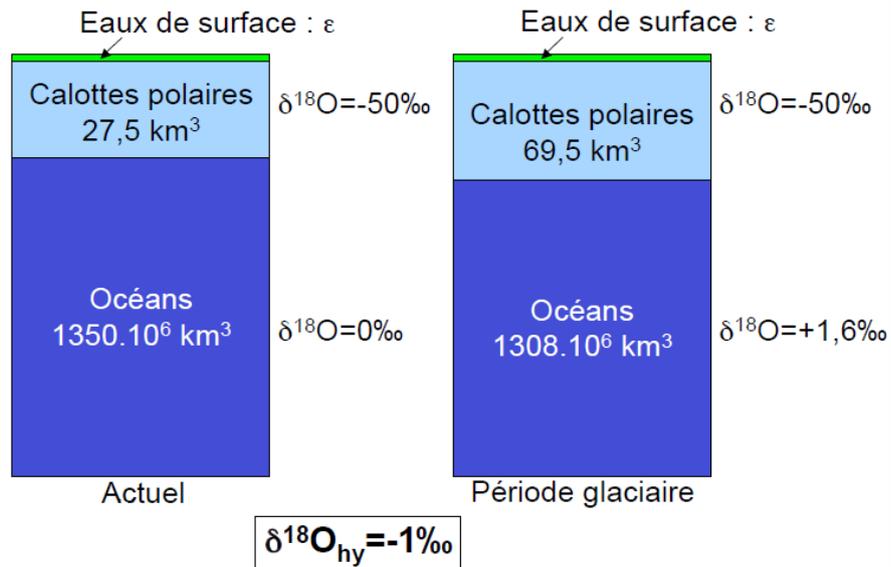
Ex : évaporation/précipitation



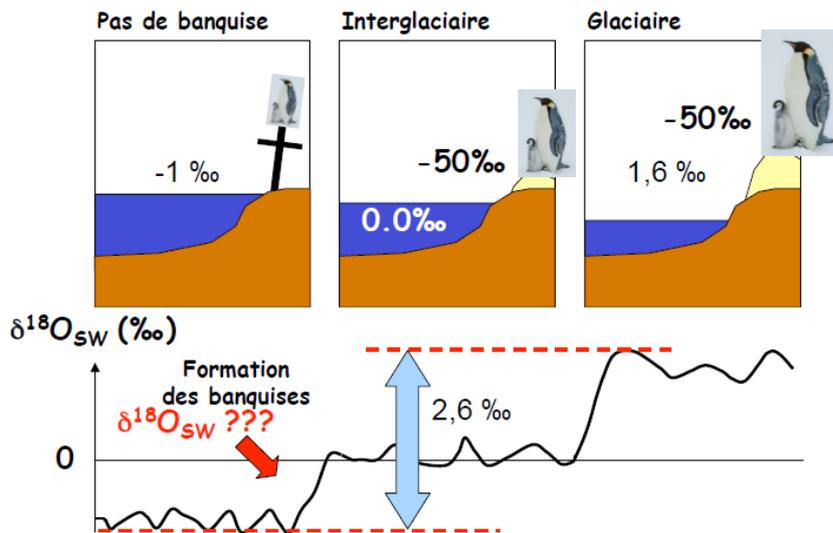
$\delta^{18}O_{SW}$ de l'eau de mer

- Actuellement de 0 ‰ par convention (SMOW)
- Balance entre deux processus indépendants
 - altération de HT des basaltes au niveau des rides
=> augmentation de $\delta^{18}O_{SW}$
 - altération de BT de la croûte océanique et des continents => diminution de $\delta^{18}O_{SW}$
- Peut varier localement par :
 - les apports par rivières (grands estuaires) : $\delta^{18}O_{SW} < 0\text{‰}$
 - une forte évaporation (bassins fermés) : $\delta^{18}O_{SW} > 0\text{‰}$
 - fonte des glaces ($<<0$) (zones polaires)
- A varié au cours du temps en fonction de :
 - les interactions océans/basaltes en fonction de l'activité des rides médio-océaniques
 - le volume de glace piégé dans les banquises le volume de glace piégé dans les banquise

Cycles glaciaires/interglaciaires



Variation de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SW}}$



Paléoclimatologie

Les **foraminifères** prélèvent de l'oxygène (carbonates) pour fabriquer leur test :



$$\alpha_{\text{foram-SW}} = 1,0286 \text{ à } 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{foram-SW}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{foram}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SW}} = 1000 \ln(\alpha_{\text{foram-SW}})$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{foram}}$

- la calcite est enrichie en ¹⁸O
 - la **température** de l'eau de mer
 - le fractionnement **biologique**
- attention aux modif. **diagénétiques**



Paléothermicité des océans

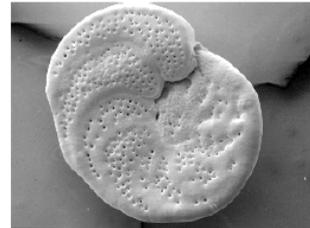
$\Delta_{\text{foram-SW}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{foram}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SW}} \rightarrow$ indicateur de **température**

$$t(^{\circ}\text{C}) = 16,9 - 4,2 \times \Delta_{\text{foram-SW}} (+0,12 \times \Delta_{\text{foram-SW}}^2)$$

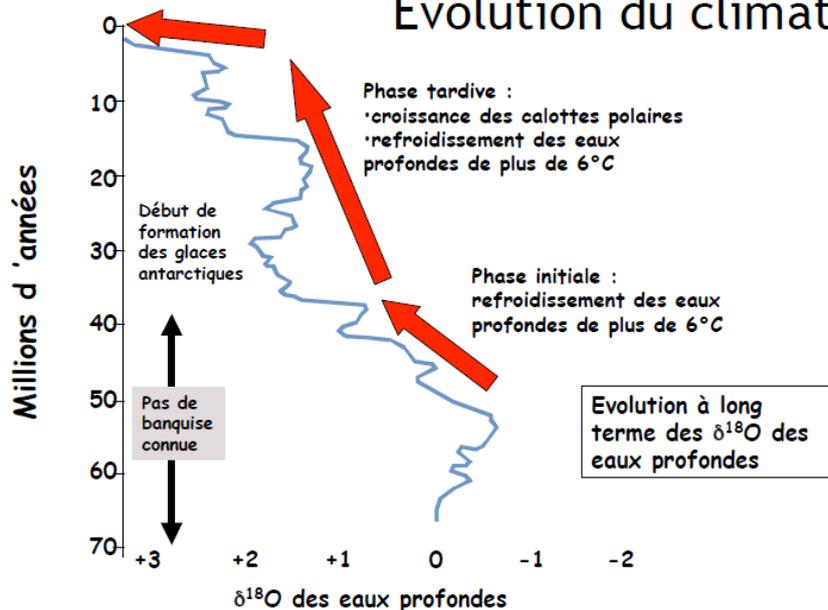
• Au fond des océans : $t = \text{constante}$

$\Delta_{\text{foram-SW}}$ est :
 ⇒ une fonction de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SW}}$
 ⇒ fonction du volume des **banquises**
 ⇒ fonction des **glaciations**

La détermination des ^{18}O dans les foraminifères **benthiques** est le fondement de la paléoclimatologie du Quaternaire



Evolution du climat



Cycle exogène

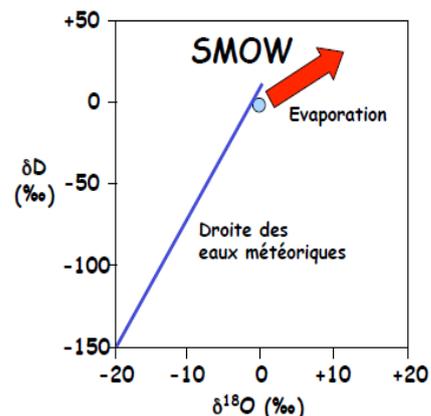
Eau de mer (SMOW) :

• $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$; $\delta\text{D} = 0 \text{ ‰}$ (par convention)

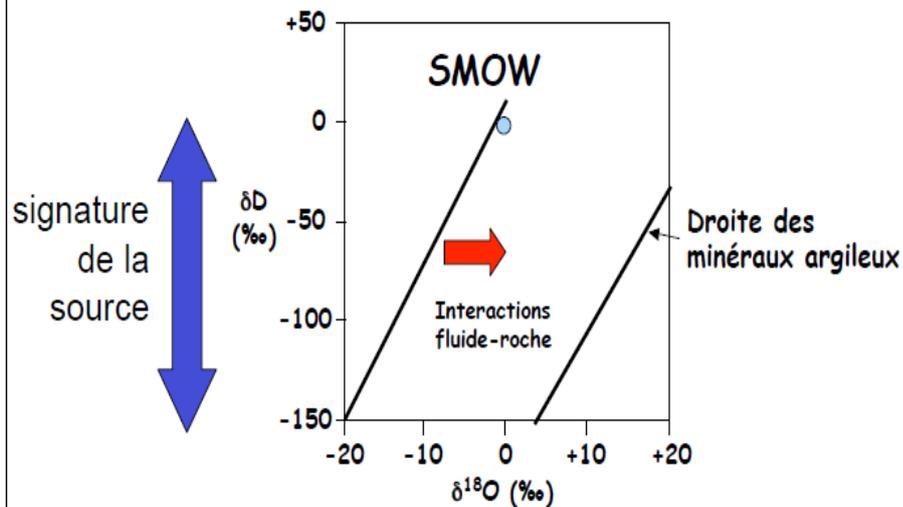
• Les $\delta^{18}\text{O}$ et δD des eaux naturelles (océan, pluies, rivières, lacs) se placent selon une droite d'équation :

$$\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$$

• Les eaux résiduelles évoluent en sens inverse (bassins fermés)



Lecture du diagramme

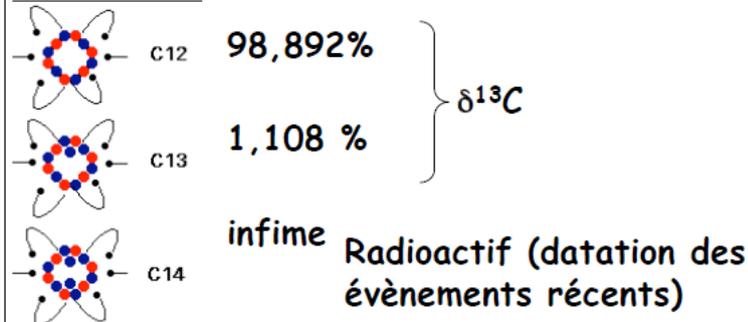


Les isotopes du carbone

Le carbone :

- est un élément "trace" à l'échelle de la Terre
- joue un rôle majeur dans la biosphère
- possède trois isotopes :

• Electron
• Proton
• Neutron } Nucléons



Signature isotopique des réservoirs

Océan :	$\delta^{13}C = 0 \text{ ‰}$
Carbonates marins :	$\delta^{13}C = 0 \text{ ‰}$
Atmosphère :	$\delta^{13}C = -7 \text{ ‰}$
Plancton marin :	$\delta^{13}C = -30 \text{ ‰}$ (tropiques) -25 ‰ (zones polaires)
Plantes terrestres :	$\delta^{13}C = -25 \text{ ‰}$
Sols :	$\delta^{13}C = -20 \text{ ‰}$
Eaux souterraines :	
	$\delta^{13}C$ dépend • de la nature de l'eau initiale • des entrées/sorties de carbone
• dissolution (calcite, aragonite, dolomite) :	↑ $\delta^{13}C$
• oxydation de matière organique :	↓ $\delta^{13}C$
• apport de CO_2 du sol :	↓ $\delta^{13}C$

Processus hors équilibre

La force d'une liaison dépend de la nature de l'isotope :



⇒ il est plus facile de rompre une liaison $^{12}\text{C}-\text{O}$ qu'une liaison $^{13}\text{C}-\text{O}$

Les processus biologiques (ex. photosynthèse) ont tendance à utiliser le ^{12}C

⇒ la matière organique est enrichie en $^{12}\text{C}-\text{O}$

Ex. $\delta^{13}\text{C}$ (CO_2 dissous dans l'eau) = 0 ‰
 $\delta^{13}\text{C}$ (phytoplancton) = -20 ‰

Signatures isotopiques des réservoirs

	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{13}\text{C}$
Océan	0	0	
Eaux météoriques	relation linéaire		
Calottes polaires	0	<<<0	
Eaux de formation	«shift» en $\delta^{18}\text{O}$		
Fluides hydrothermaux	tendance linéaire		
	«shift» en $\delta^{18}\text{O}$		
Carbonates marins			~0
Matière organique			<<0

Applications

- Géothermométrie
 - Paléoclimatologie
 - Processus d'interactions fluide-roche
bassins sédimentaires, métamorphisme,
plutonisme, hydrothermalisme, minéralisations
- Sources de fluides (traçage)
- Evaluation des échanges entre roches et minéraux