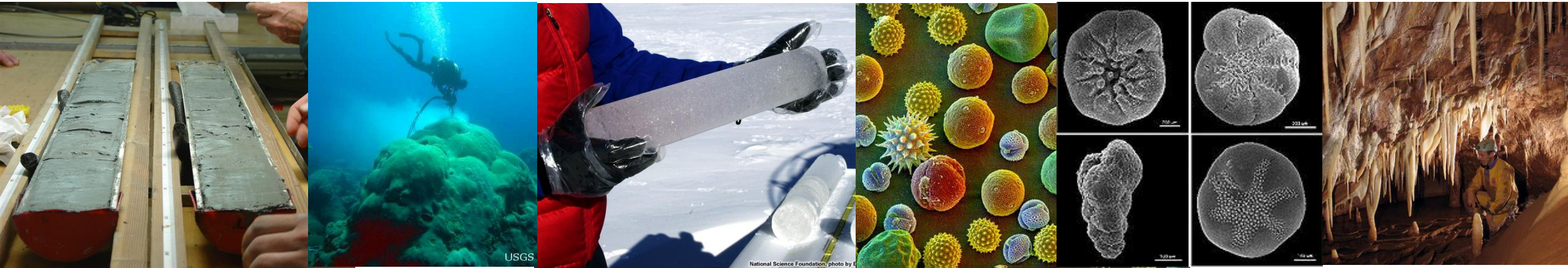


Module « Système Terre, Climats, Energies » Climat, Energies » GO 122- L1 PCST

TP2 – Les climats du passé



Partie 1. Les isotopes stables de l'oxygène et leur intérêt en paléoclimatologie

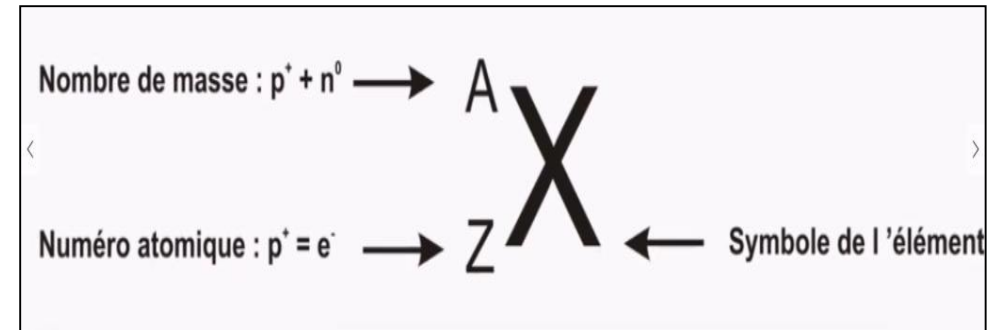
Partie 2. Les variations du niveau marin

EXERCICE 1. Fractionnement isotopique de l'Oxygène



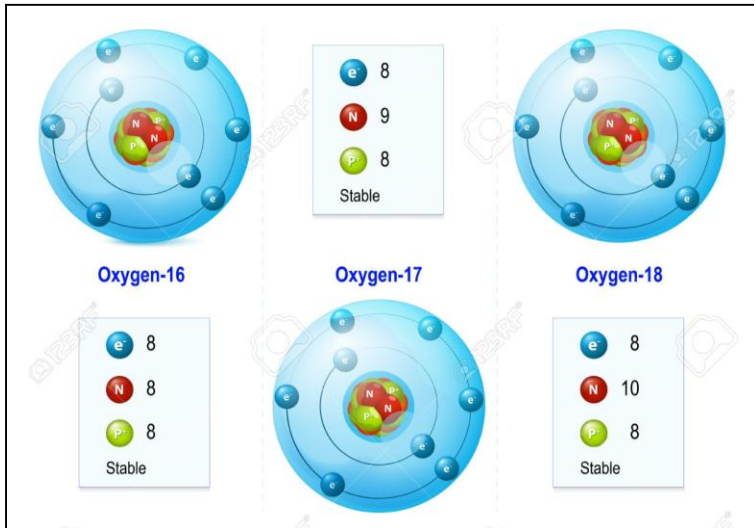
Petit Rappel de base : Isotopie de l'oxygène

- L'**Oxygène** est un élément chimique de numéro atomique **Z = 8** (8 protons)

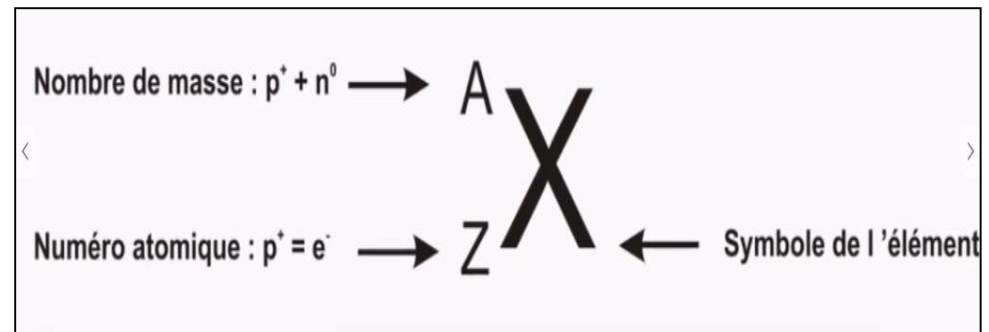


Petit Rappel de base : Isotopie de l'oxygène

- L'**Oxygène** est un élément chimique de numéro atomique **Z = 8** (8 protons)
- Il possède **3 isotopes** qui ont tous le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent :

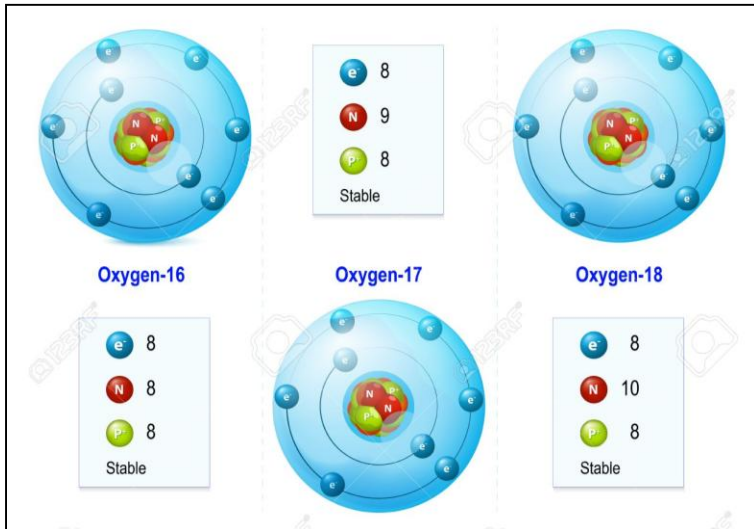


- **¹⁶O** (8 protons – 8 neutrons) : Abondant **99,76%**
- **¹⁷O** (8 protons – 9 neutrons) : Rare **0,04%**
- **¹⁸O** (8 protons – 10 neutrons) : **0,2%**

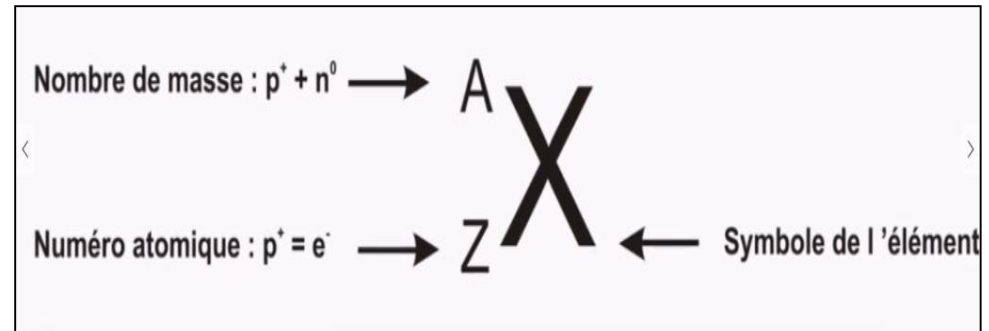


Petit Rappel de base : Isotopie de l'oxygène

- L'**Oxygène** est un élément chimique de numéro atomique **Z = 8** (8 protons)
- Il possède **3 isotopes** qui ont tous le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent :



- **^{16}O** (8 protons – 8 neutrons) : Abondant **99,76%**
- **^{17}O** (8 protons – 9 neutrons) : Rare **0,04%**
- **^{18}O** (8 protons – 10 neutrons) : **0,2%**



→ Comportement des différents isotopes :

- Les isotopes ont le **même nombre d'électrons = même réactivité chimique**
- Les isotopes ont des **masses différentes**, ils vont donc réagir différemment lors des **réactions** dans lesquelles ils seront impliqués (ex. changement d'état). Ainsi, **l'isotope ^{18}O est plus lourd que l'isotope ^{16}O !**

Petit Rappel de base : notation δ

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ sample} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} \right] \times 1000$$

Petit Rappel de base : notation δ

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ sample} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} \right] \times 1000$$

→ REMARQUES :

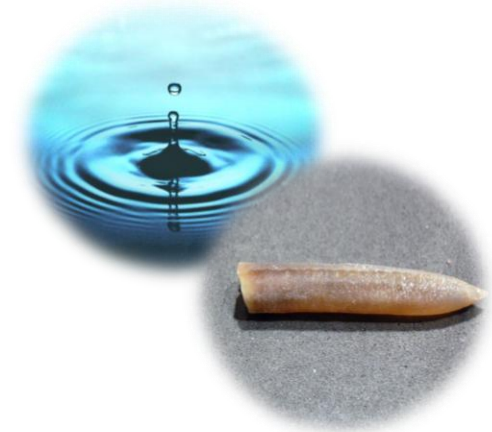
- Les **mesures** d'abondances isotopiques **absolues** sont **difficiles**. Il est préférable de regarder la différence par rapport à un **standard**.
- **L'abondance d'un isotope** est ainsi noté δ et l'unité est le ‰, afin de ne pas manipuler de petits chiffres (0,002).

Petit Rappel de base : notation δ

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ sample} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} \right] \times 1000$$

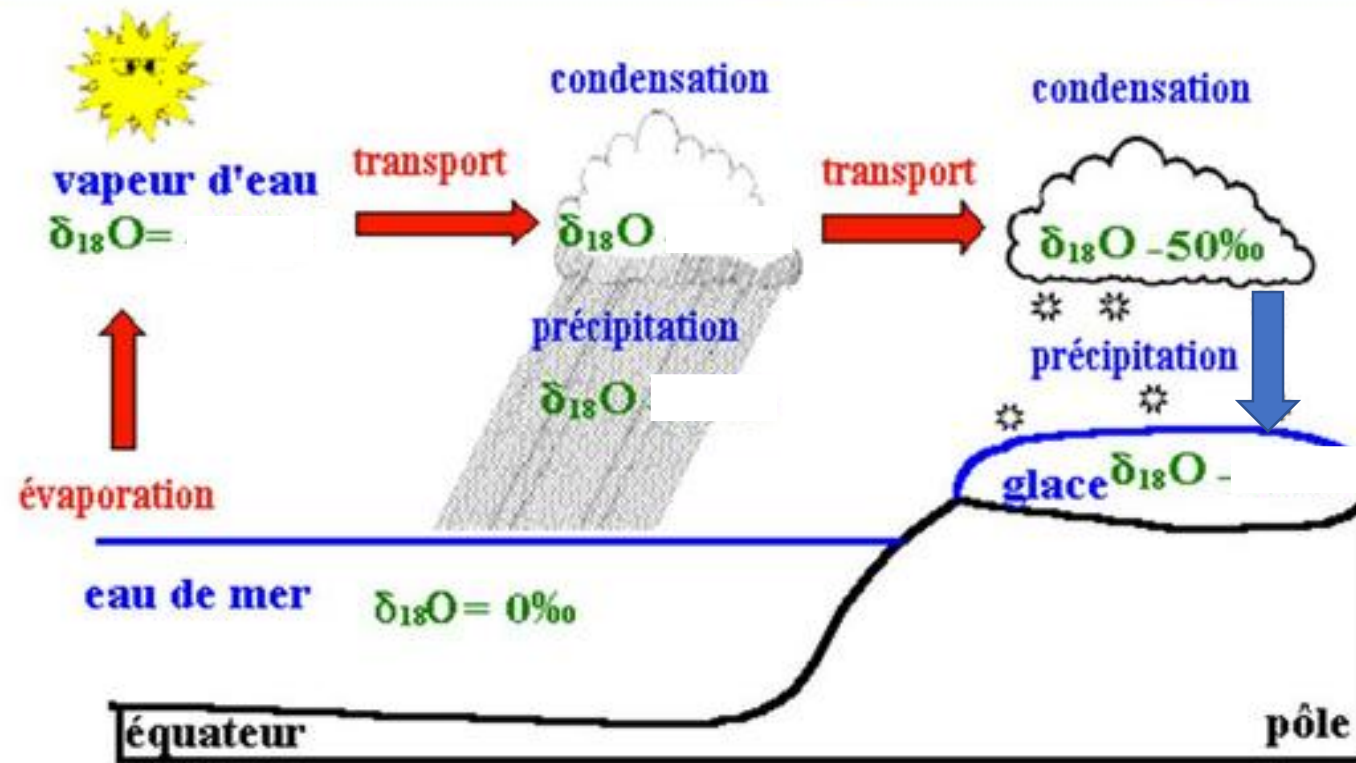
→ REMARQUES :

- Les **mesures** d'abondances isotopiques **absolues** sont **difficiles**. Il est préférable de regarder la différence par rapport à un **standard**.
- **L'abondance d'un isotope** est ainsi noté δ et l'unité est le ‰, afin de ne pas manipuler de petits chiffres (0,002).
- **STANDARD** : matériel de référence disponible en grande quantité de composition isotopique bien connue.
 - **SMOW** : Standard isotopique de l'eau de mer (*Standard Mean Ocean Water*), il représente la composition isotopique moyenne de l'eau de mer actuel.



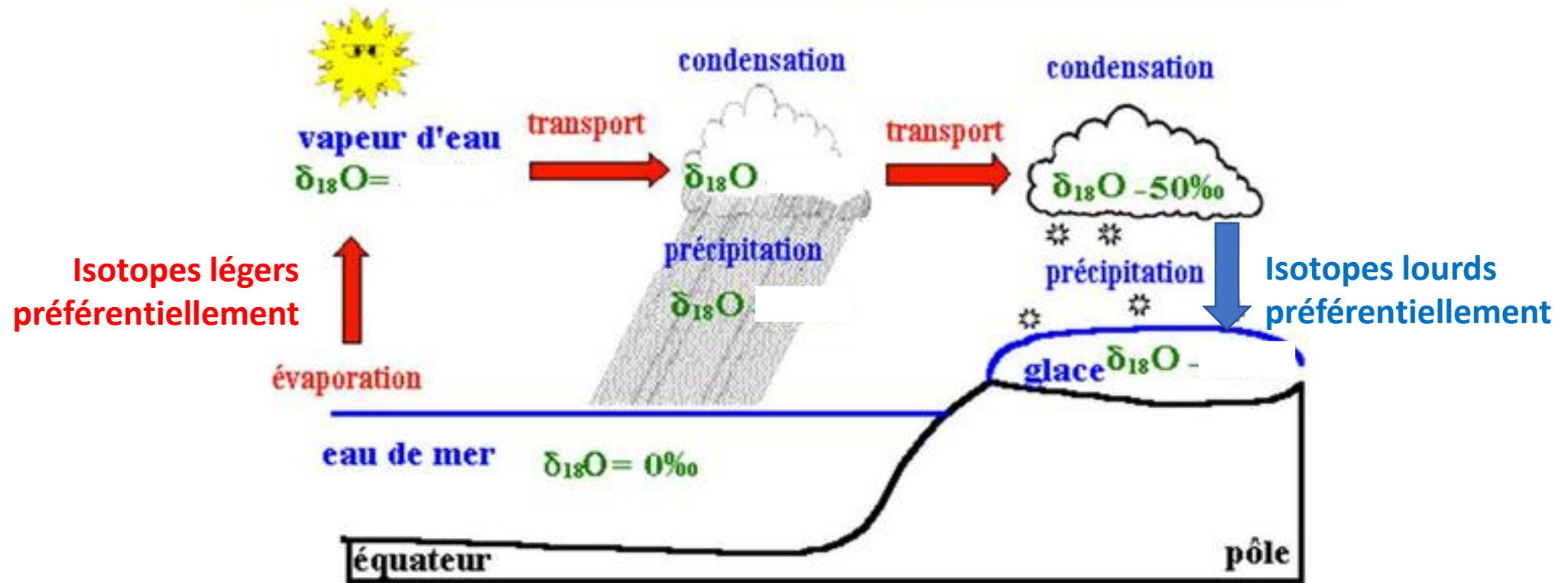
EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Estimer approximativement les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ dans le schéma ci-dessous.



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Estimer approximativement les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ dans le schéma ci-dessous.



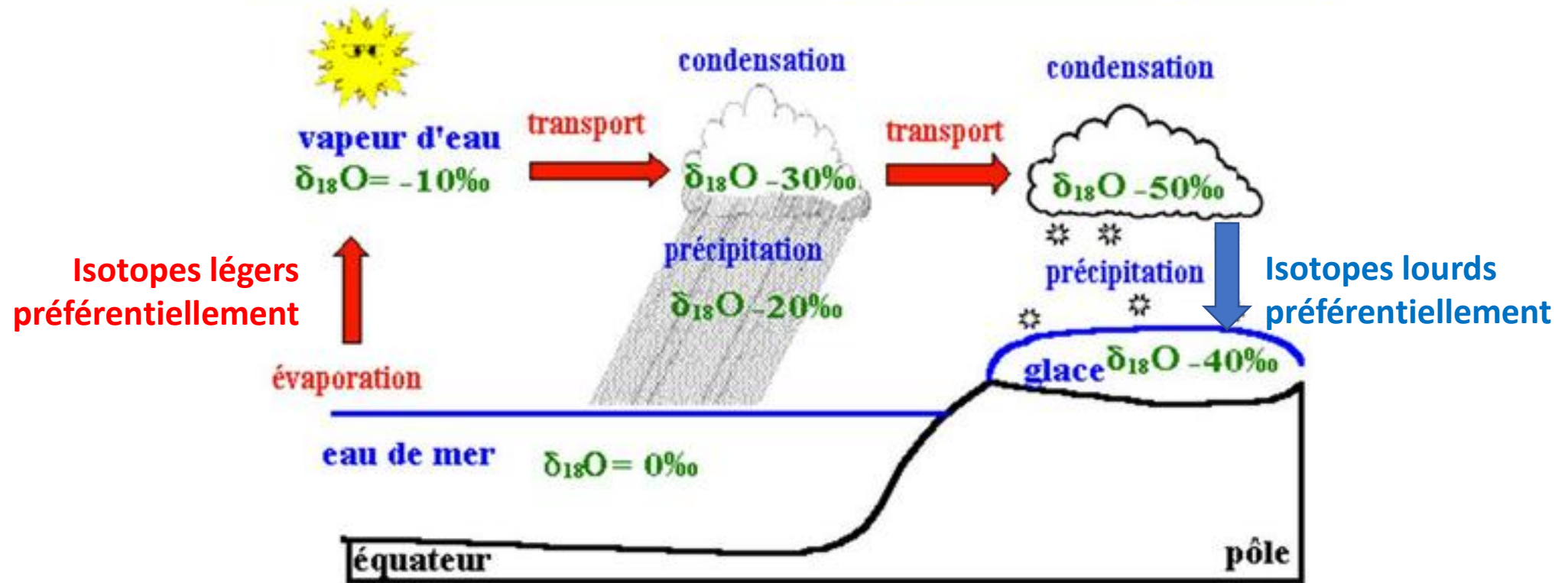
→ REMARQUES :

- Pendant **l'évaporation** : les **isotopes légers** rejoignent préférentiellement les nuages.
- Pendant les **précipitations** : les **isotopes lourds** rejoignent préférentiellement les gouttes de pluie.



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Estimer approximativement les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ dans le schéma ci-dessous.



→ REMARQUES :

- Pendant **l'évaporation** : les **isotopes légers** rejoignent préférentiellement les nuages.
- Pendant les **précipitations** : les **isotopes lourds** rejoignent préférentiellement les gouttes de pluie.



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Quel est le $\delta^{18}\text{O}$ d'un échantillon de glace pour lequel $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) = 0,00196$?

EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Quel est le $\delta^{18}\text{O}$ d'un échantillon de glace pour lequel $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) = 0,00196$?

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ sample} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} \right] \times 1000$$

→ REMARQUES :

- Standard = SMOW $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.002$
- Echantillon = Glace $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.00196$

EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Quel est le $\delta^{18}\text{O}$ d'un échantillon de glace pour lequel $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) = 0,00196$?

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ sample} - \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}}{\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \text{ standard}} \right] \times 1000$$

→ REMARQUES :

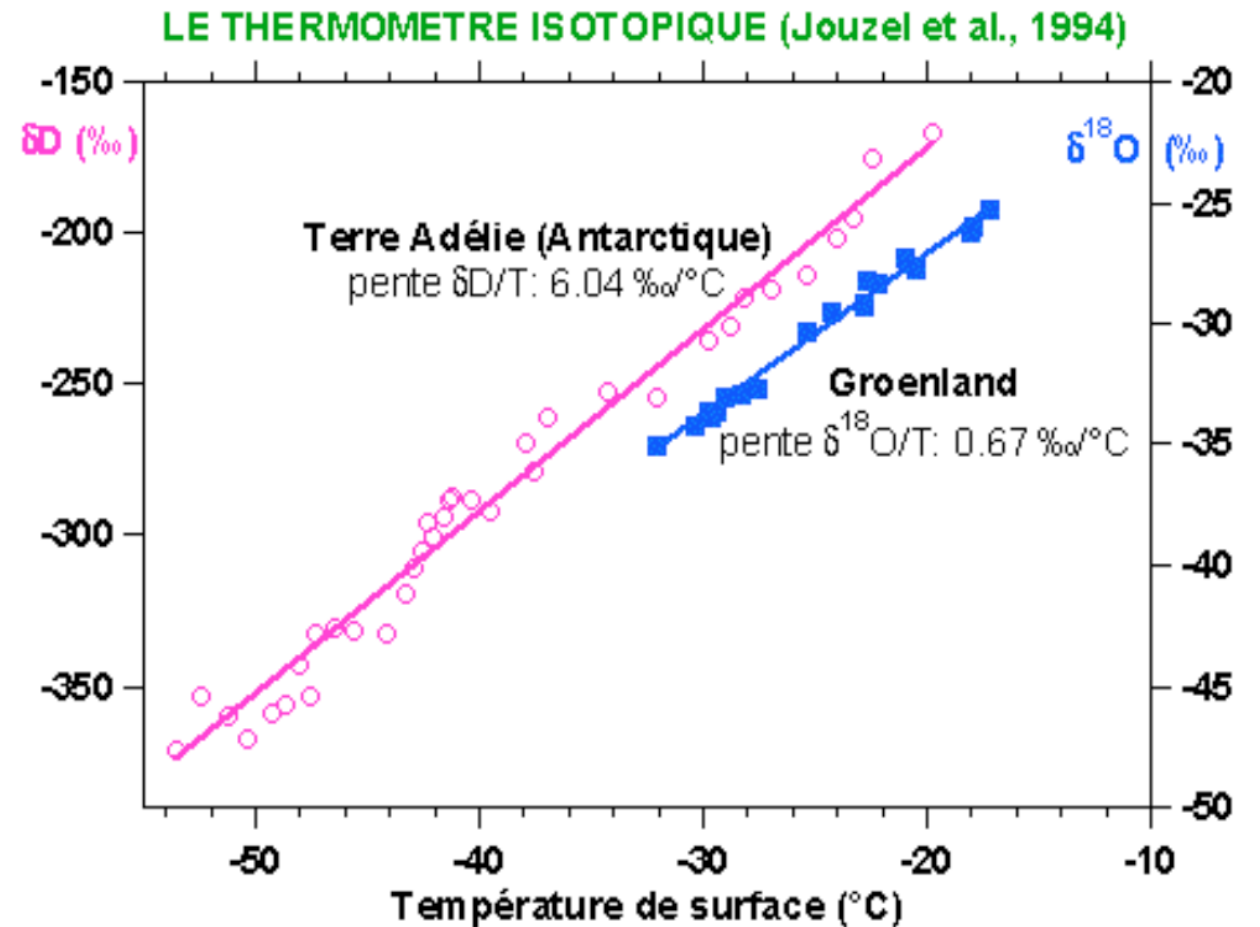
- Standard = SMOW $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.002$
- Echantillon = Glace $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.00196$

$$\text{AN : } \delta^{18}\text{O}_{\text{échantillon}} = ((0.00196 - 0.002)/(0.002)) * 1000$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \underline{\underline{-20\text{‰}}}$$

EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

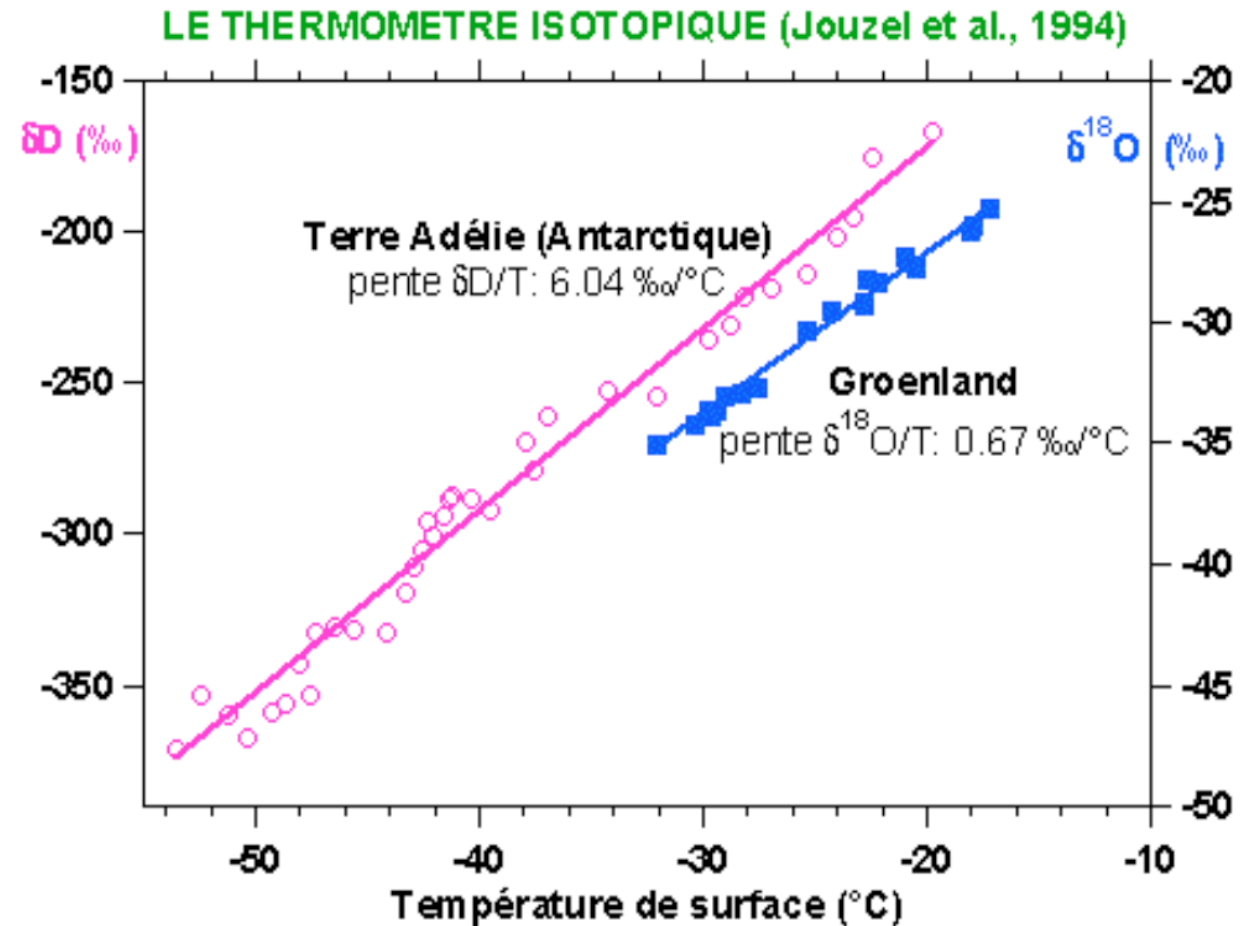
- ✓ Décrire la figure ci-dessous. Quelles informations pouvez-vous déduire des relations existantes entre les différents paramètres présentés ? Que va-t-on observer aux pôles durant une période glaciaire ?



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Décrire la figure ci-dessous. Quelles informations pouvez-vous déduire des relations existantes entre les différents paramètres présentés ? Que va-t-on observer aux pôles durant une période glaciaire ?

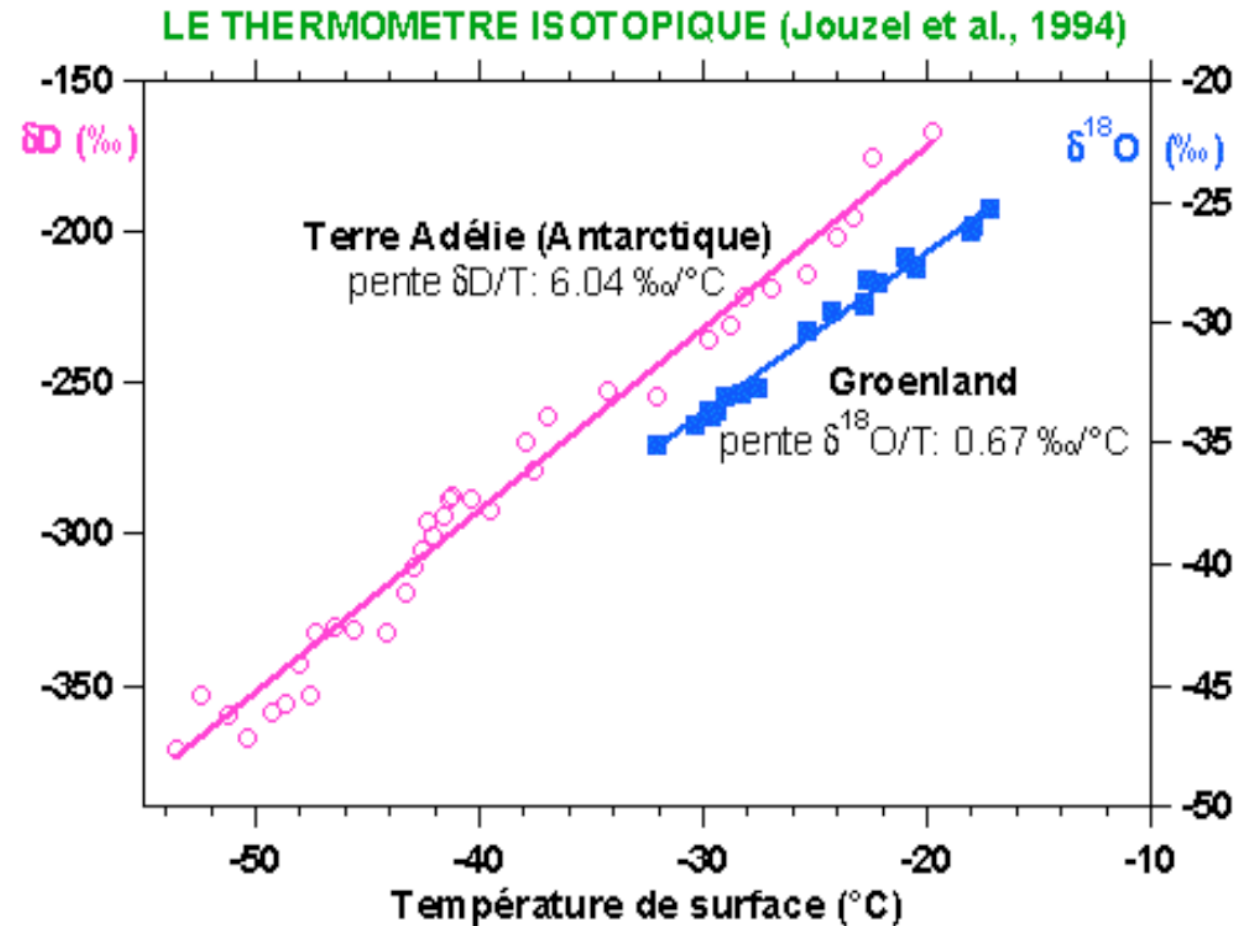
- La relation existante est dite **LINEAIRE** entre :
 - $\delta^{18}\text{O}$ et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)
 - δD (D = Deutérium = ^2H : isotope naturel stable de l'hydrogène) et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Décrire la figure ci-dessous. Quelles informations pouvez-vous déduire des relations existantes entre les différents paramètres présentés ? Que va-t-on observer aux pôles durant une période glaciaire ?

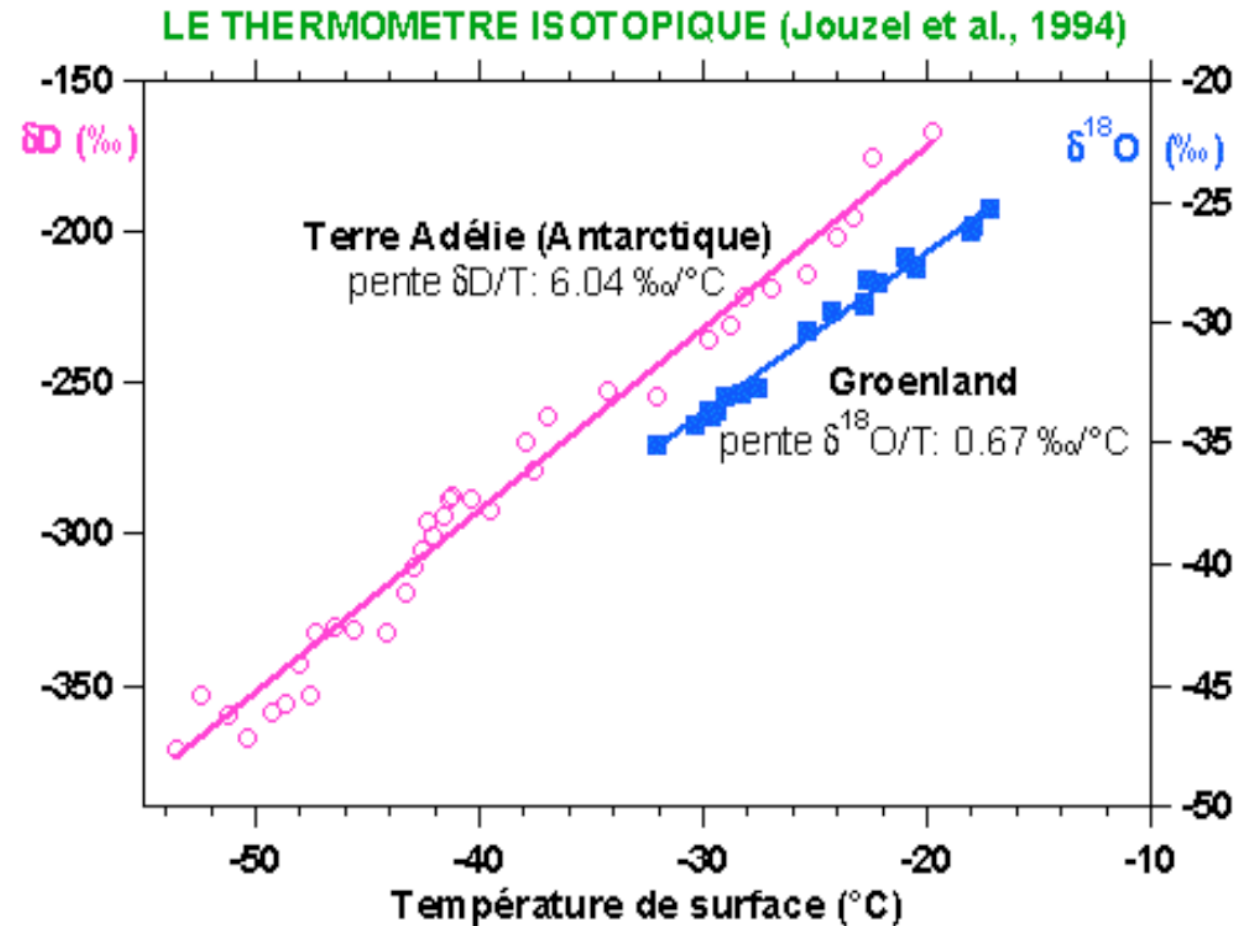
- La relation existante est dite **LINEAIRE** entre :
 - $\delta^{18}\text{O}$ et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)
 - δD (D = Deutérium = ^2H : isotope naturel stable de l'hydrogène) et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)
- Le **fractionnement isotopique** est plus **important à basse température**
 - Plus l'air est froid et plus δ est négatif !



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ Décrire la figure ci-dessous. Quelles informations pouvez-vous déduire des relations existantes entre les différents paramètres présentés ? Que va-t-on observer aux pôles durant une période glaciaire ?

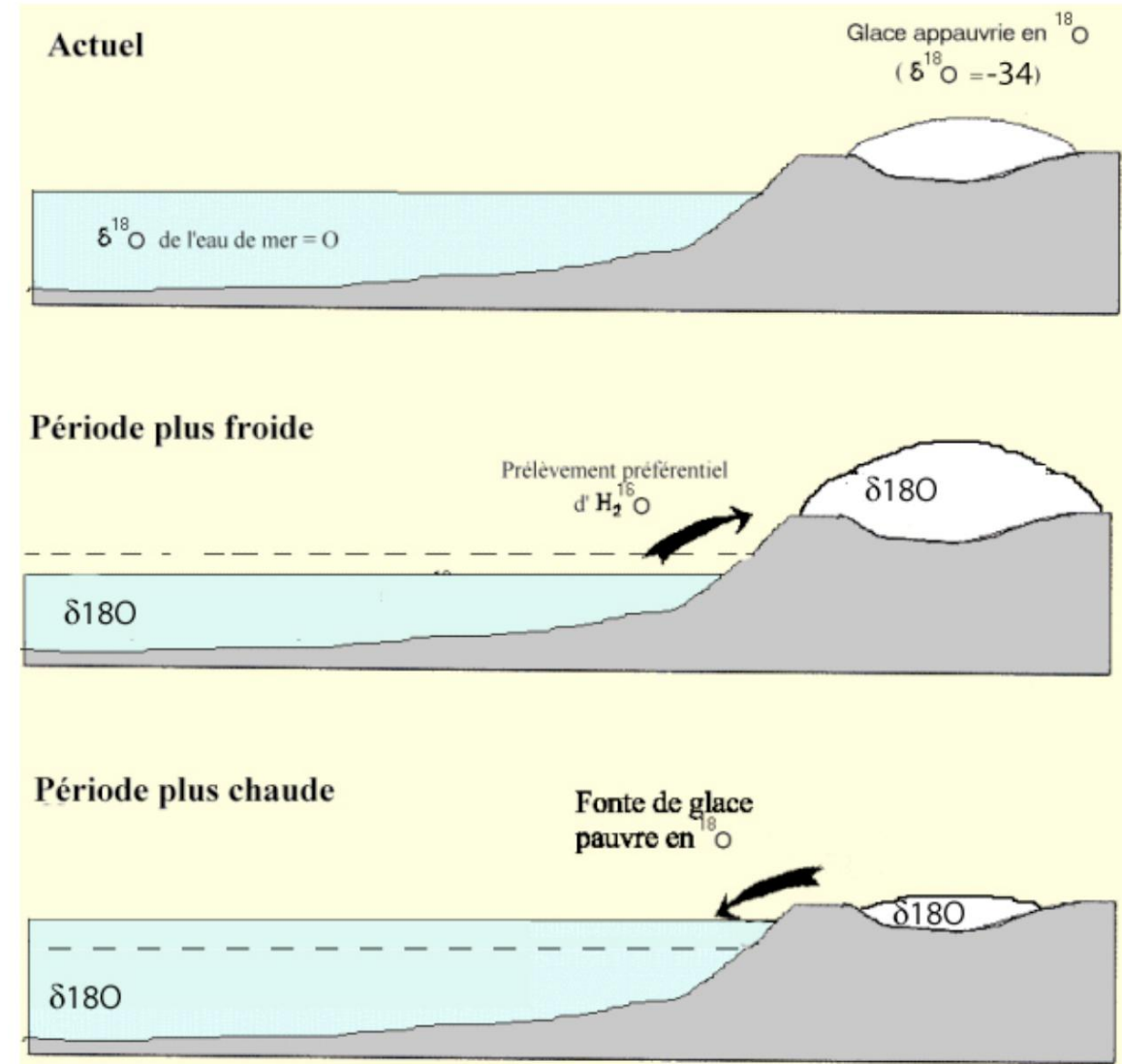
- La relation existante est dite **LINEAIRE** entre :
 - $\delta^{18}\text{O}$ et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)
 - δD (D = Deutérium = ^2H : isotope naturel stable de l'hydrogène) et la **température de l'air de surface** ($^{\circ}\text{C}$)
- Le **fractionnement isotopique** est plus **important** à **basse température**
 - Plus l'air est froid et plus δ est négatif !
- En **période glaciaire**, il fait **plus froid** (même aux pôles). Le $\delta^{18}\text{O}$ et le δD des glaces des calottes vont **diminuer** par rapport à leur valeur actuelle.



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

- ✓ D'après les observations précédentes, estimez les tendances du $\delta^{18}\text{O}$ de la glace et de l'océan pour des périodes plus froides et plus chaudes qu'actuellement. Expliquez.

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme
Lavoisier



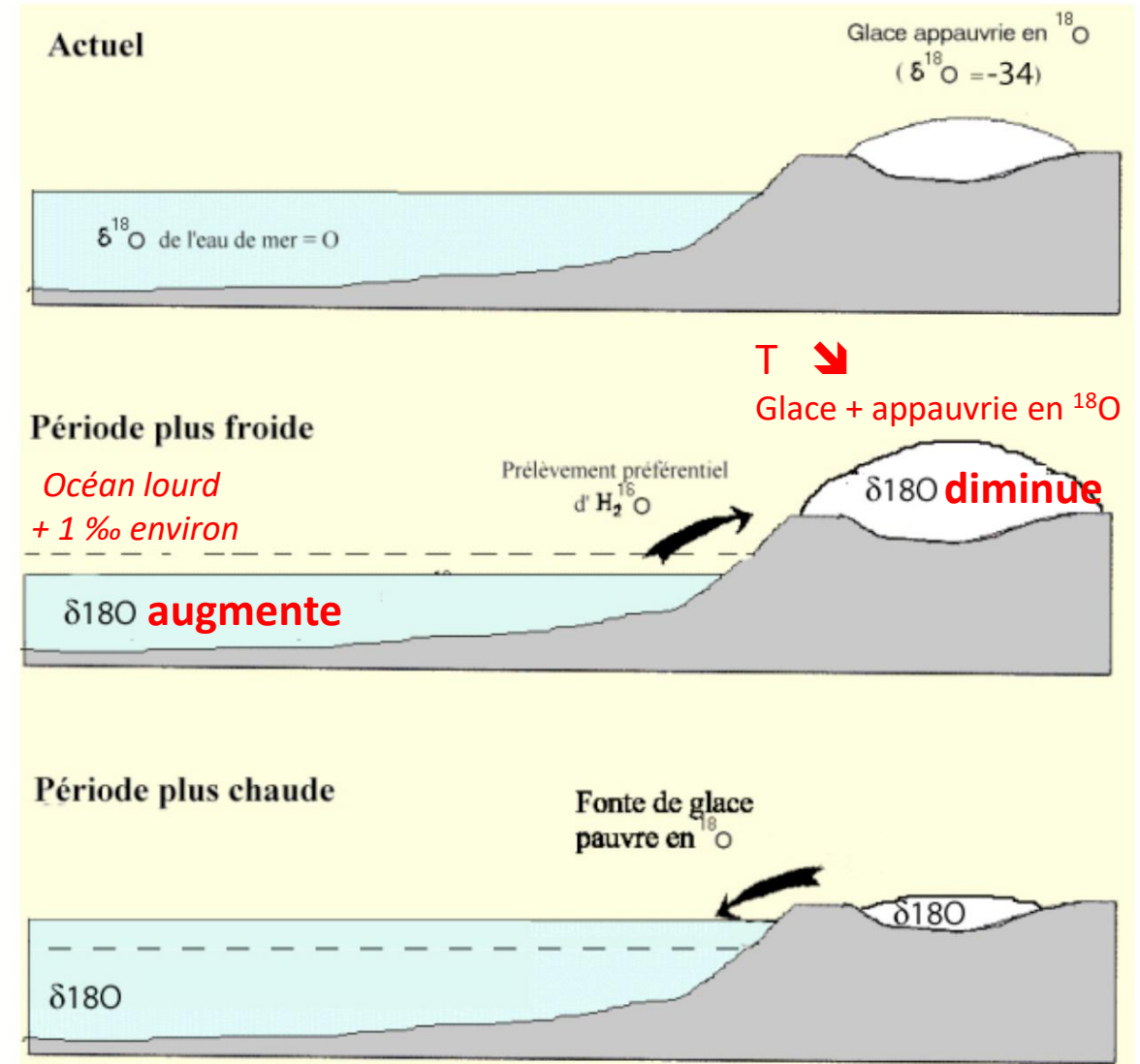
EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ D'après les observations précédentes, estimez les tendances du $\delta^{18}\text{O}$ de la glace et de l'océan pour des périodes plus froides et plus chaudes qu'actuellement. Expliquez.

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme
Lavoisier

PERIODE PLUS FROIDE :

- **Moins d'évaporation** -> O^{16} préférentiellement dans les nuages
- Les **calottes** issues des nuages **enrichis en isotopes légers** accumulent beaucoup d' O^{16}
- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **calottes diminue** alors que celui de l'**océan augmente**



EXERCICE 1 Fractionnement isotopique de l'Oxygène

✓ D'après les observations précédentes, estimez les tendances du $\delta^{18}\text{O}$ de la glace et de l'océan pour des périodes plus froides et plus chaudes qu'actuellement. Expliquez.

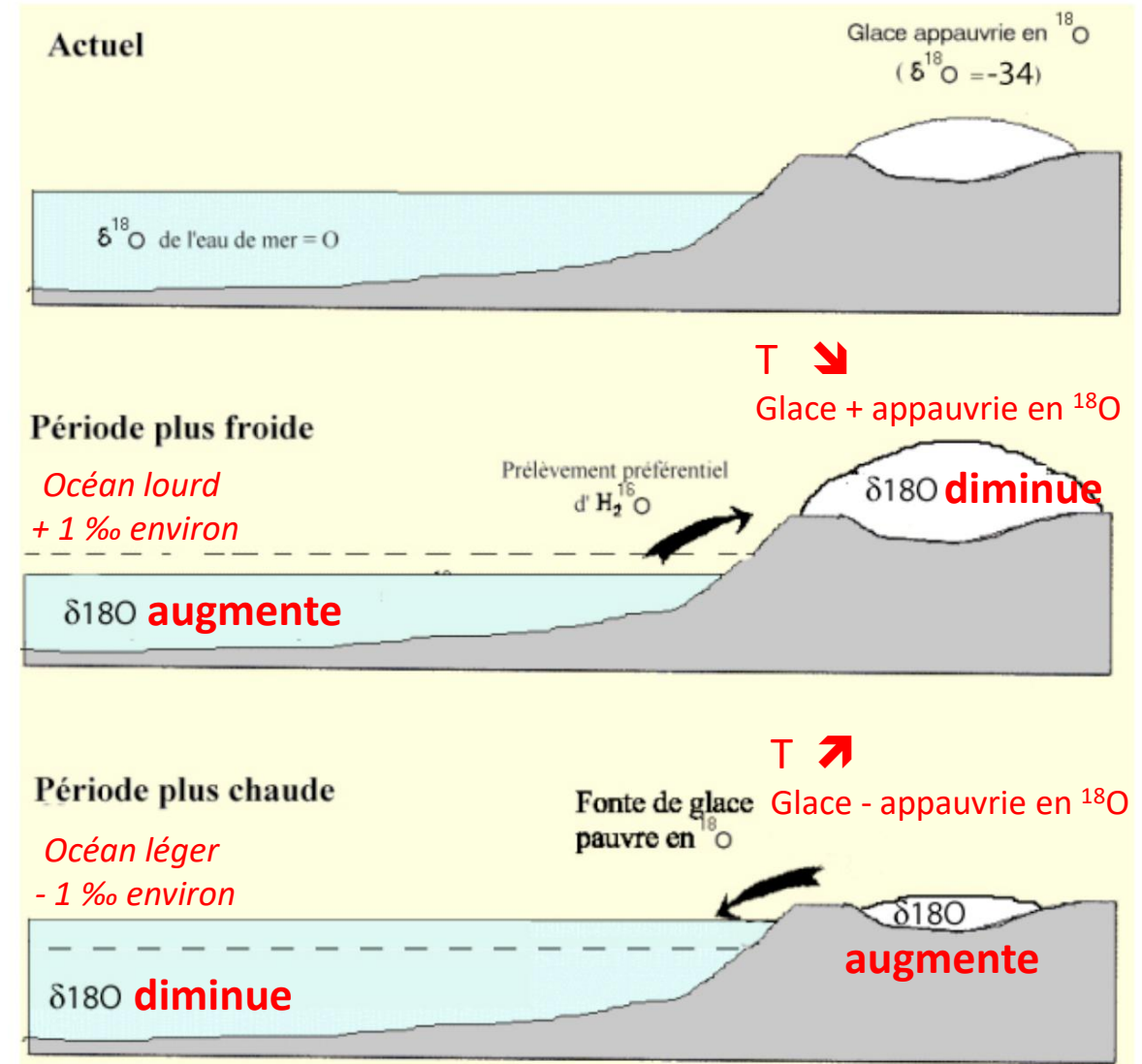
Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme
Lavoisier

PERIODE PLUS FROIDE :

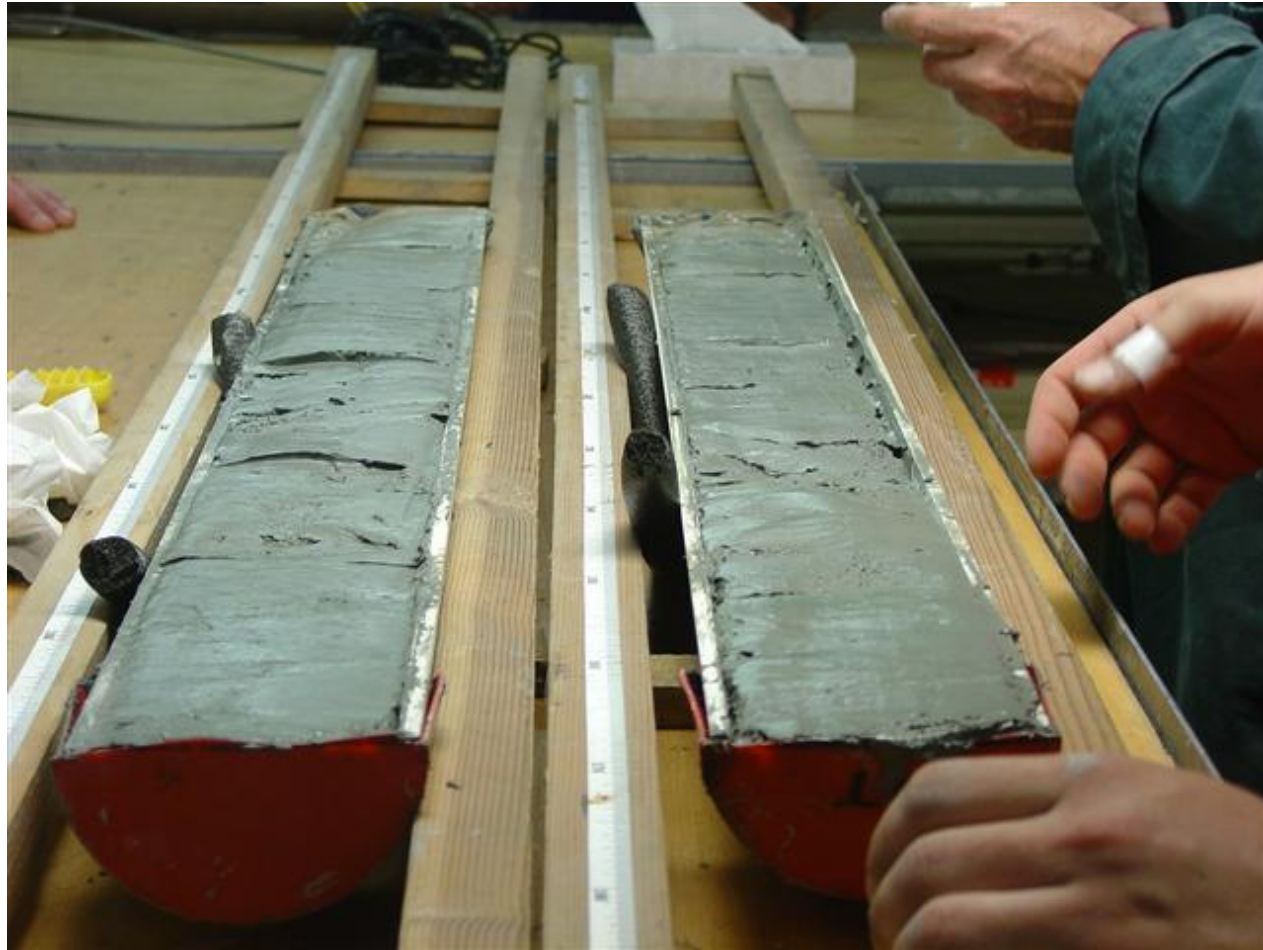
- **Moins d'évaporation** -> O^{16} préférentiellement dans les nuages
- Les **calottes** issues des nuages **enrichis en isotopes légers** accumulent beaucoup d' O^{16}
- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **calottes diminue** alors que celui de l'**océan augmente**

PERIODE PLUS CHAUDE :

- **Plus d'évaporation** -> O^{16} et O^{18} dans les nuages
- Les **calottes** issues des nuages enrichis en isotopes légers pendant la période plus froide **fondent** et **relarguent l' O^{16} dans l'océan**
- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **calottes augmente** alors que celui de l'**océan diminue**

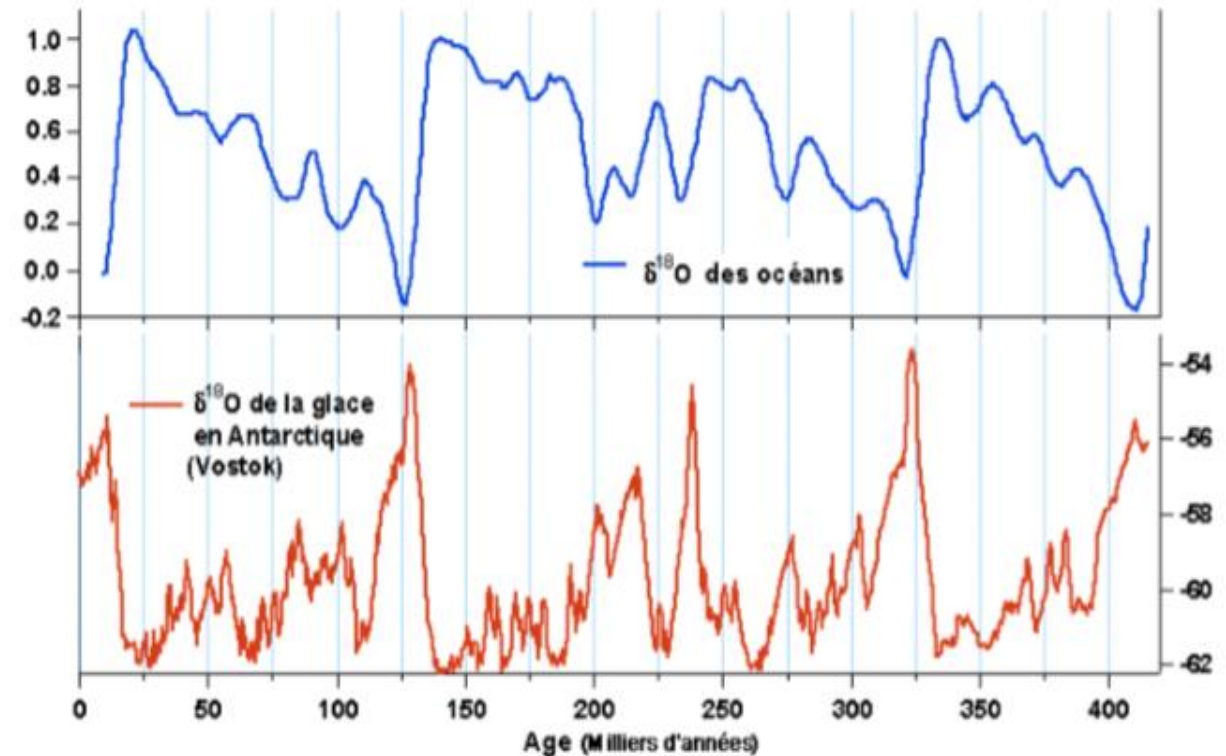


EXERCICE 2. Signal isotopique des derniers 400ka



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

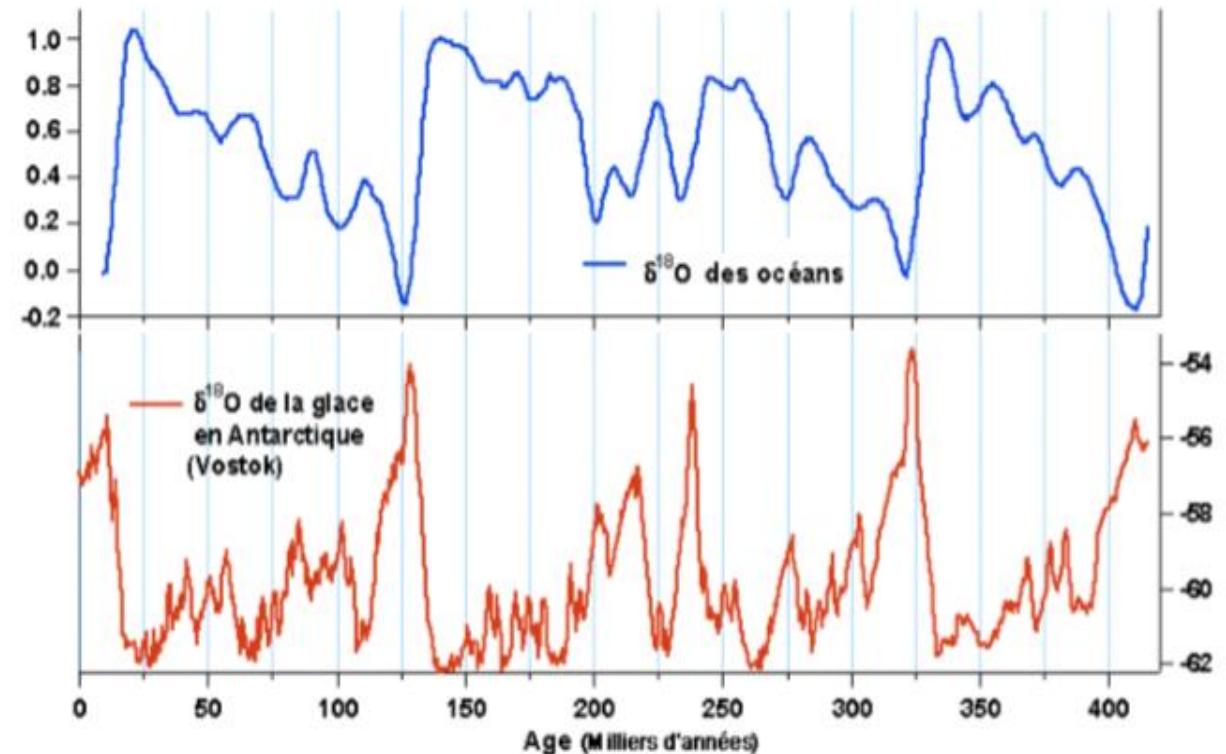
- ✓ Discutez les relations entre les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et dans les glaces au cours des 400 000 dernières années.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ Discutez les relations entre les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et dans les glaces au cours des 400 000 dernières années.

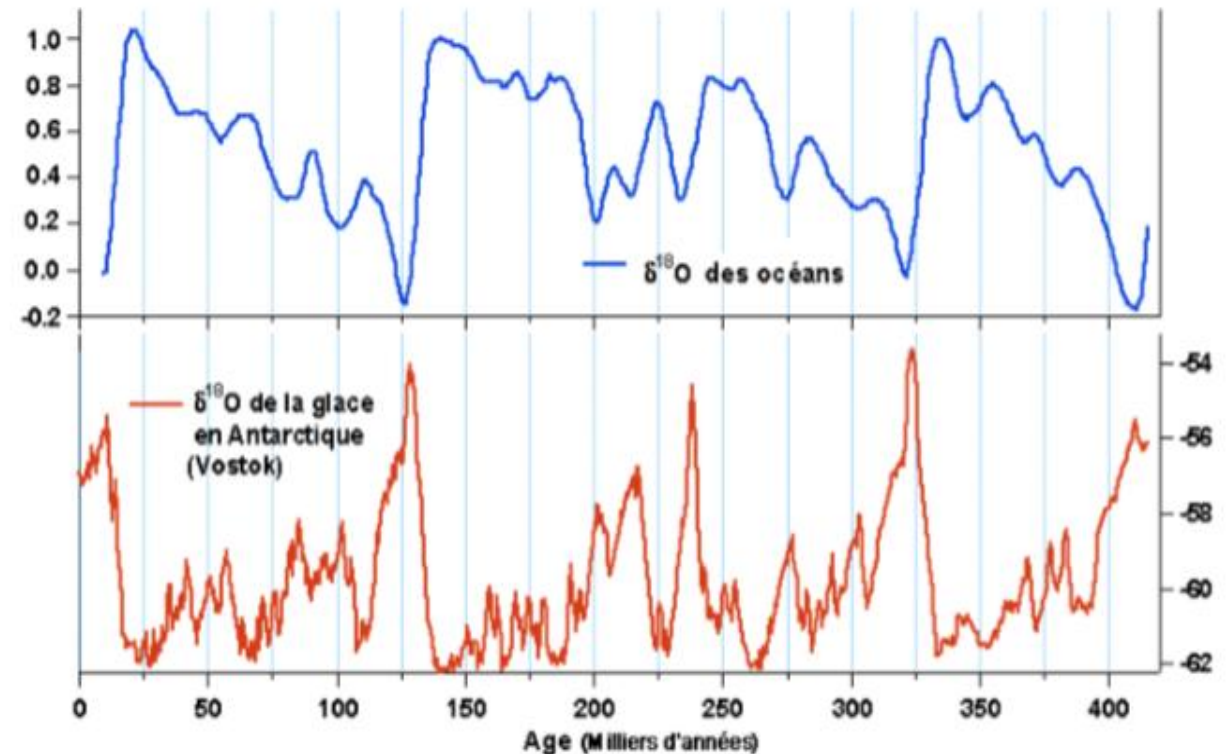
- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **océans** et celui des **glaces** en Antarctique varient en **ANTIPHASE**.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ Discutez les relations entre les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et dans les glaces au cours des 400 000 dernières années.

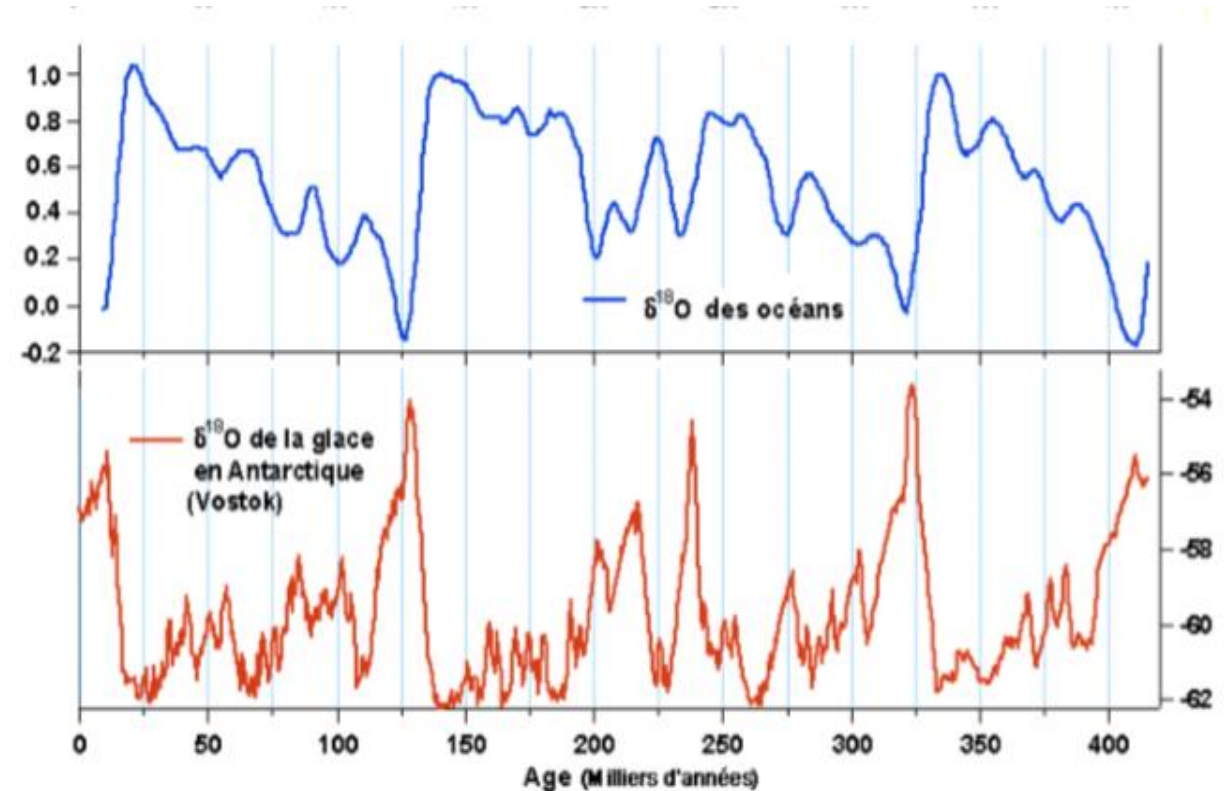
- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **océans** et celui des **glaces** en Antarctique varient en **ANTIPHASE**.
 - Quand le $\delta^{18}\text{O}$ de la **glace** est **élevé** (glaces relativement pauvres en ^{16}O)
→ **période chaude**, le $\delta^{18}\text{O}$ de l'**eau de mer** est **faible** (océan appauvri en ^{18}O)



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

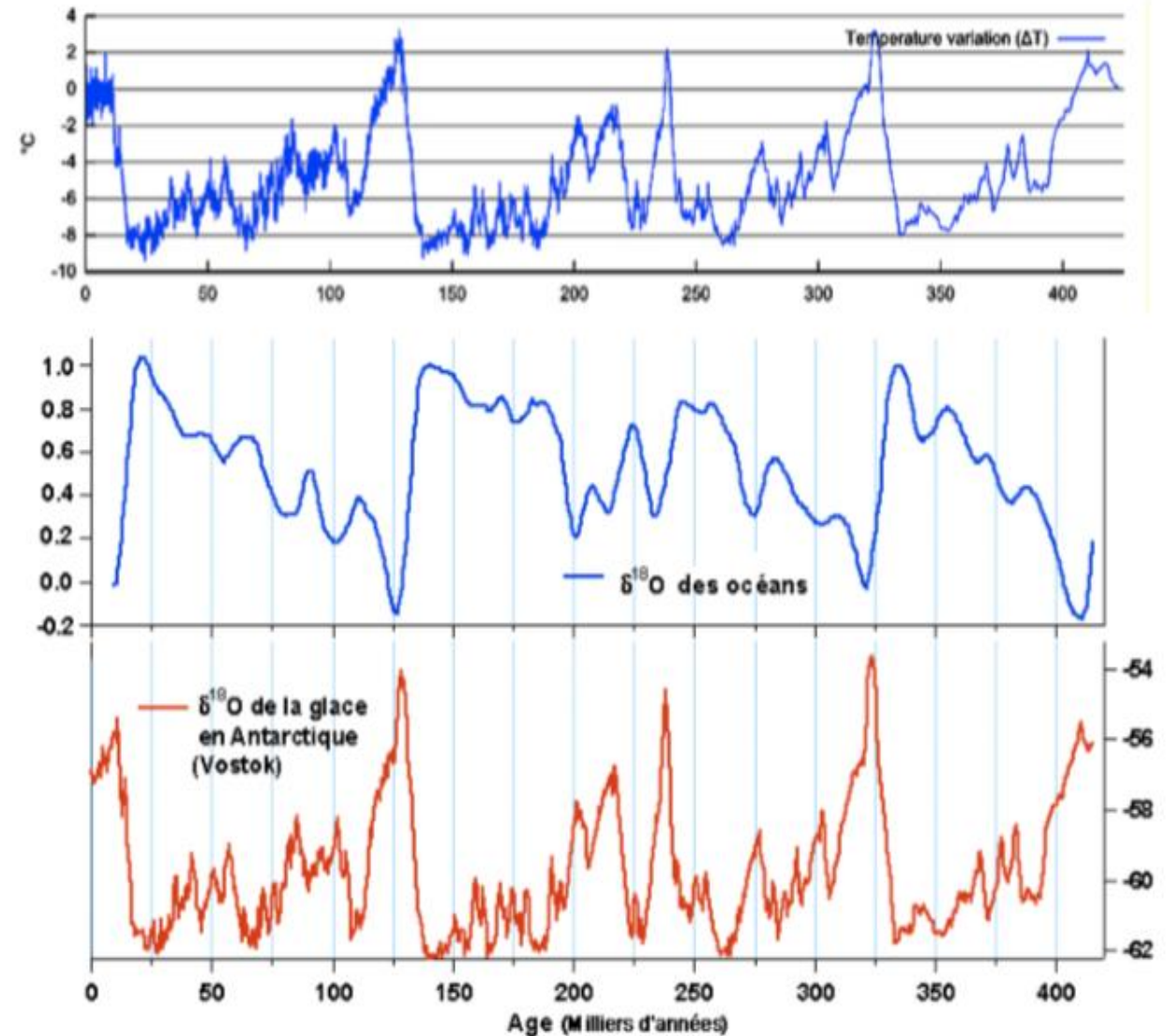
✓ Discutez les relations entre les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et dans les glaces au cours des 400 000 dernières années.

- Le $\delta^{18}\text{O}$ des **océans** et celui des **glaces** en Antarctique varient en **ANTIPHASE**.
 - Quand le $\delta^{18}\text{O}$ de la **glace** est **élevé** (glaces relativement pauvres en ^{16}O)
→ **période chaude**, le $\delta^{18}\text{O}$ de l'**eau de mer** est **faible** (océan appauvri en ^{18}O)
 - Quand le $\delta^{18}\text{O}$ de la **glace** est **faible** (glaces relativement riches en ^{16}O)
→ **période froide**, le $\delta^{18}\text{O}$ de l'**eau de mer** est **élevé** (océan enrichi en ^{18}O)



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

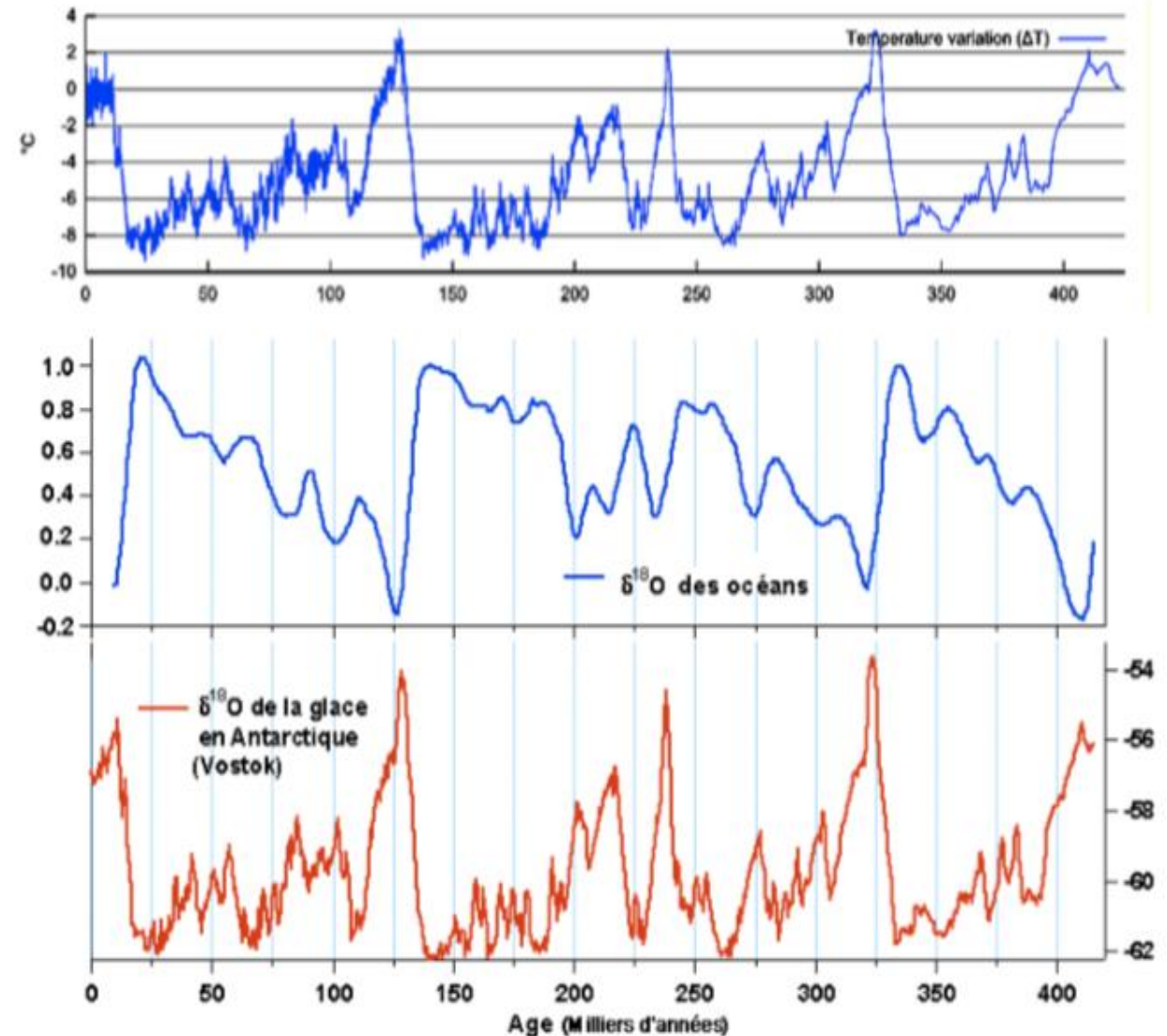
- ✓ A partir de l'observation de la figure ci-dessous, discuter le lien entre les températures atmosphériques et les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et les glaces.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ A partir de l'observation de la figure ci-dessous, discuter le lien entre les températures atmosphériques et les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et les glaces.

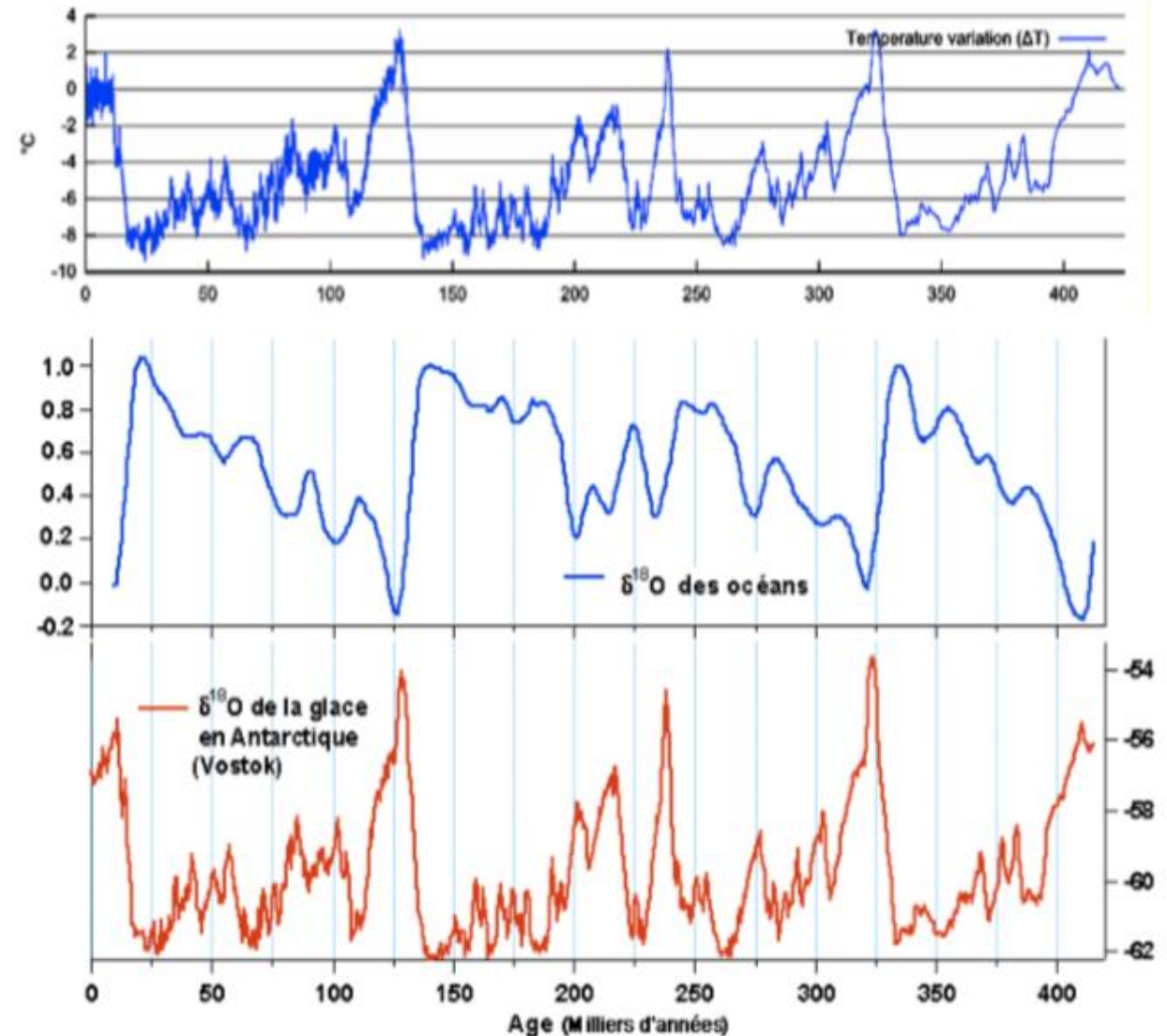
- Les **températures** varient en **phase** avec le **$\delta^{18}\text{O}$** de la **glace** et en **antiphase** avec celui des **océans**.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ A partir de l'observation de la figure ci-dessous, discuter le lien entre les températures atmosphériques et les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et les glaces.

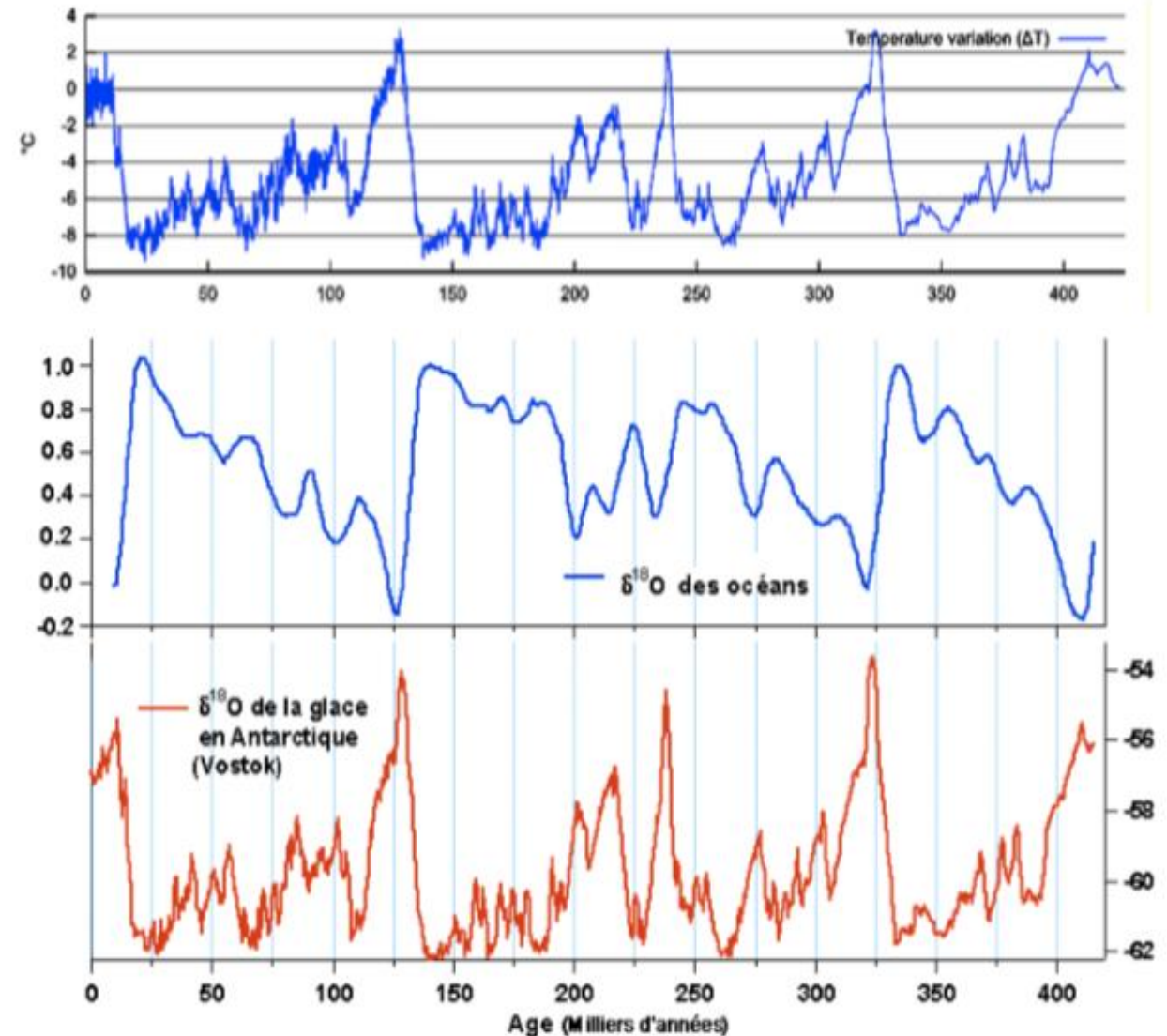
- Les **températures** varient en **phase** avec le **$\delta^{18}\text{O}$** de la **glace** et en **antiphase** avec celui des **océans**.
- Le **$\delta^{18}\text{O}$ de la glace est un traceur du climat** (indicateur mesurable dans une archive climatique) qui permet de **remonter à l'évolution des températures atmosphériques**.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

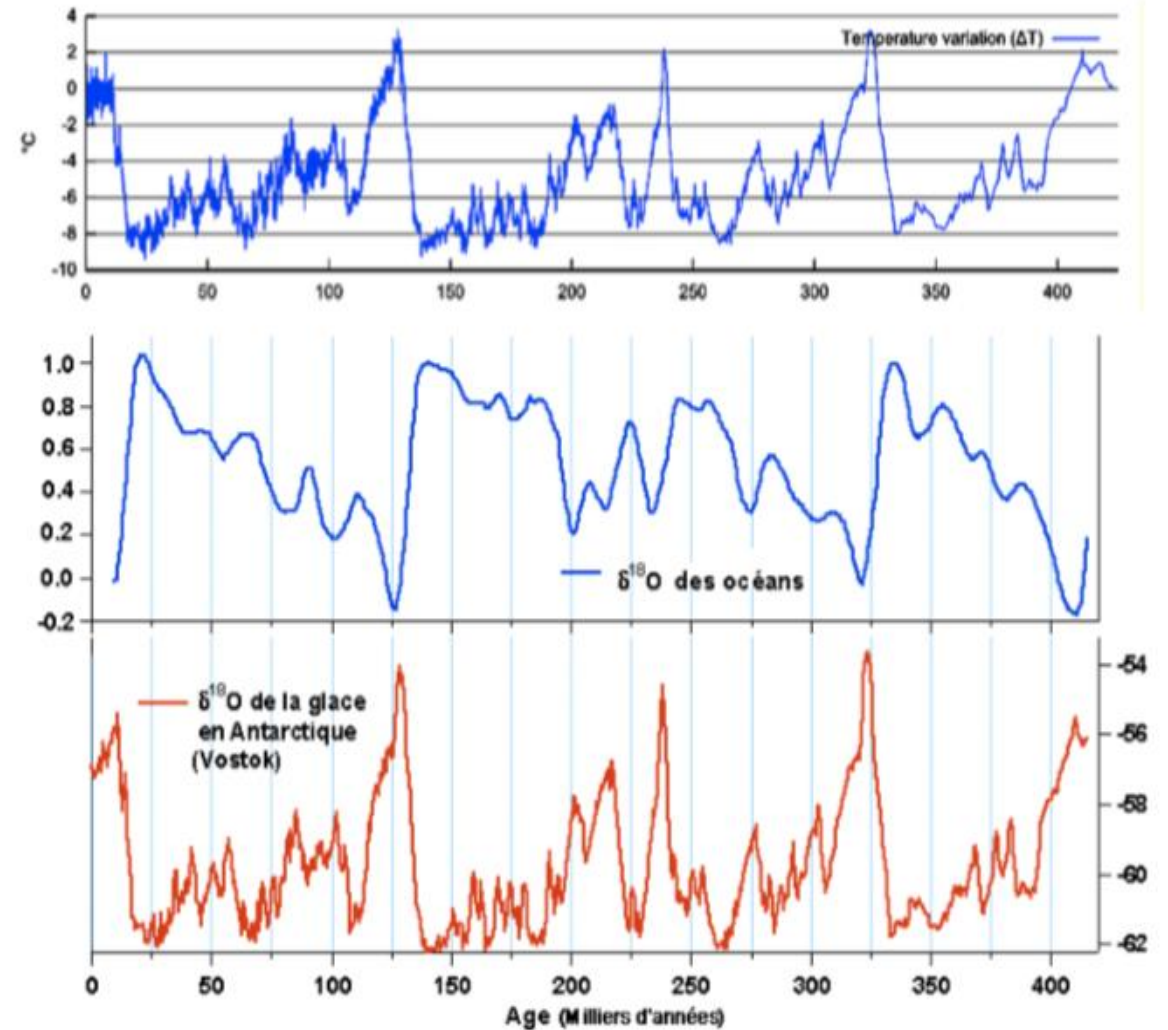
✓ A partir de l'observation de la figure ci-dessous, discuter le lien entre les températures atmosphériques et les $\delta^{18}\text{O}$ mesurés dans les océans et les glaces.

- Les **températures** varient en **phase** avec le **$\delta^{18}\text{O}$** de la **glace** et en **antiphase** avec celui des **océans**.
- Le **$\delta^{18}\text{O}$ de la glace est un traceur du climat** (indicateur mesurable dans une archive climatique) qui permet de **remonter à l'évolution des températures atmosphériques**.
- Le **$\delta^{18}\text{O}$ des océans** évolue quant à lui en réponse aux changements de températures.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

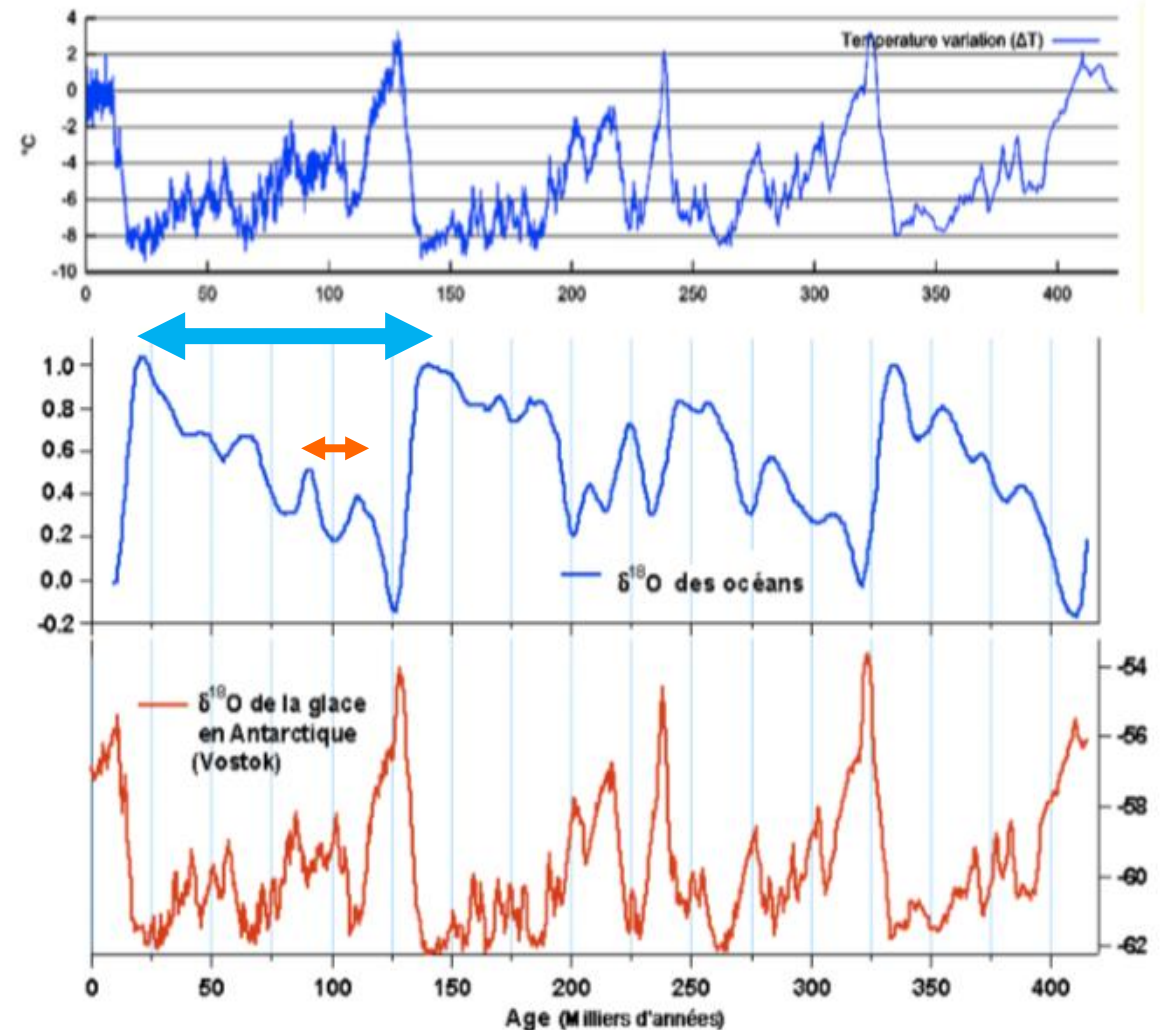
- ✓ Observez-vous une certaine cyclicité temporelle dans ces données ?, A quoi peut être due cette cyclicité ?, Climatiquement, à quoi peut-elle correspondre ? Repositionnez ces périodes sur le graphique des températures atmosphériques.



EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ Observez-vous une certaine cyclicité temporelle dans ces données ?, A quoi peut être due cette cyclicité ?, Climatiquement, à quoi peut-elle correspondre ? Repositionnez ces périodes sur le graphique des températures atmosphériques.

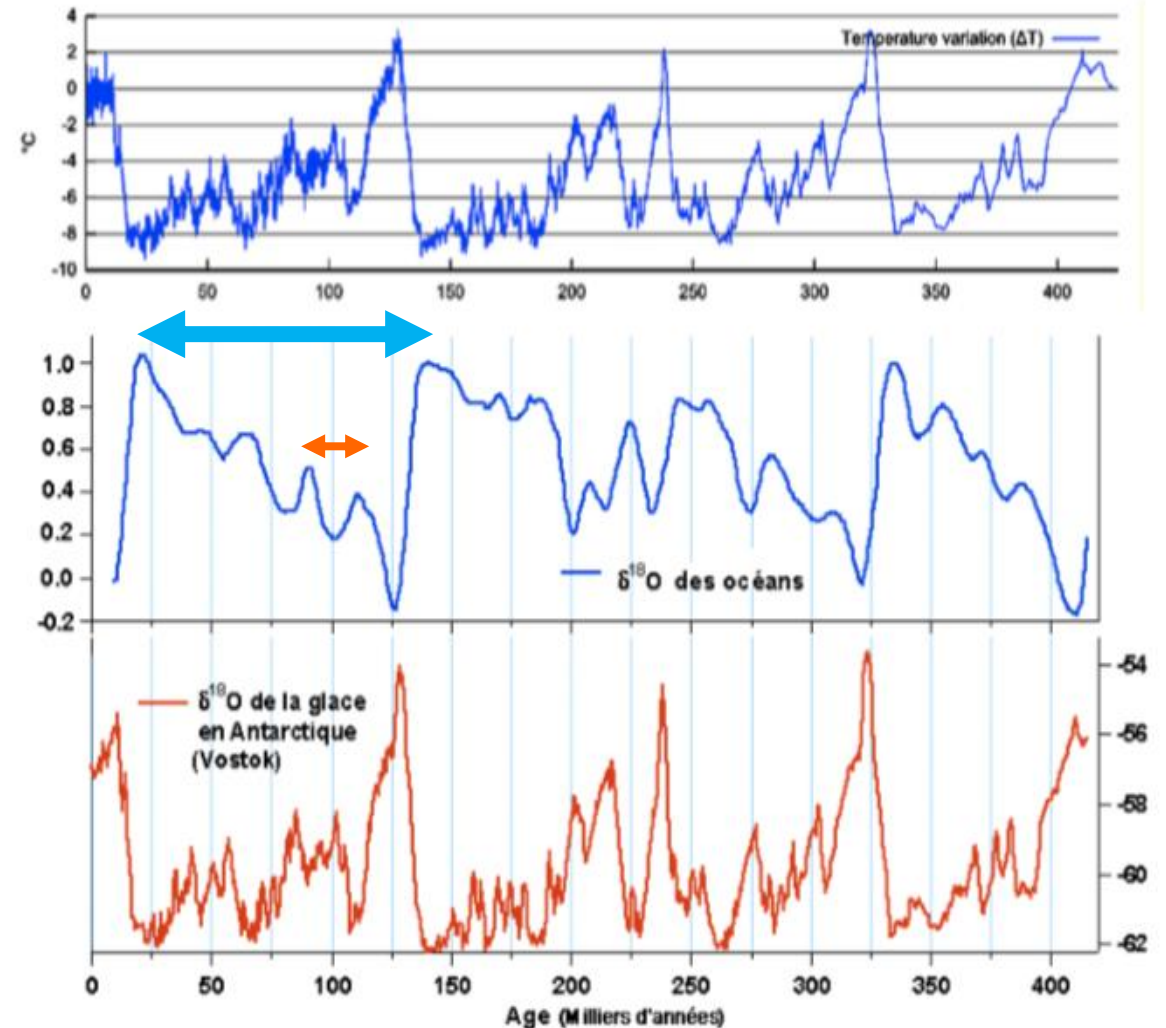
- **OUI**, on observe plusieurs cyclicités dont :
 - des grands cycles d'environ **100ka**
 - des plus petits cycles d'environ **20ka**



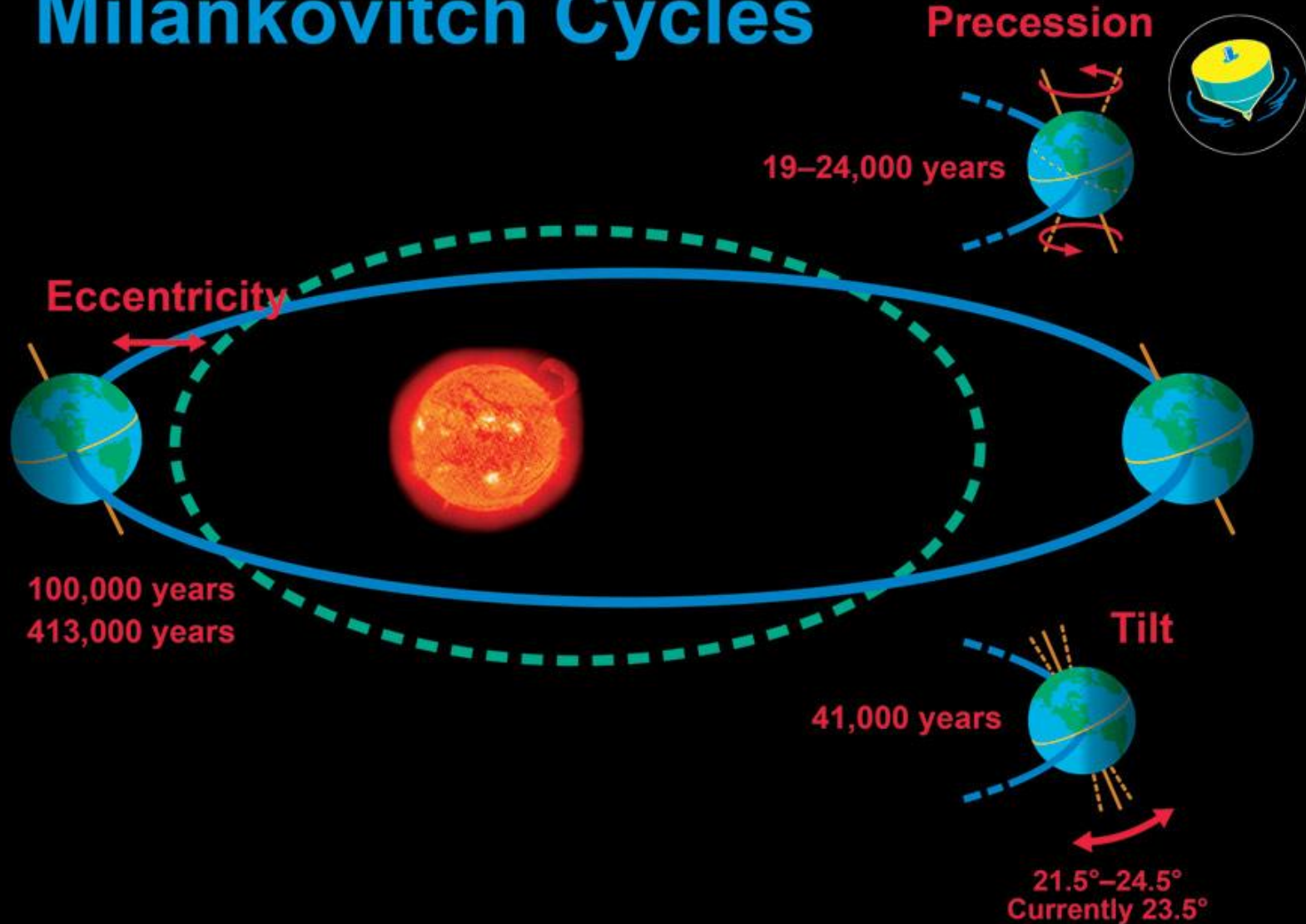
EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

✓ Observez-vous une certaine cyclicité temporelle dans ces données ?, A quoi peut être due cette cyclicité ?, Climatiquement, à quoi peut-elle correspondre ? Repositionnez ces périodes sur le graphique des températures atmosphériques.

- **OUI**, on observe plusieurs cyclicités dont :
 - des grands cycles d'environ **100ka**
 - des plus petits cycles d'environ **20ka**
- Ces cyclicités sont dues aux **variations des paramètres orbitaux de la Terre** :
 - **EXCENTRICITE, PRESSION, OBLIQUITE !**



Milankovitch Cycles

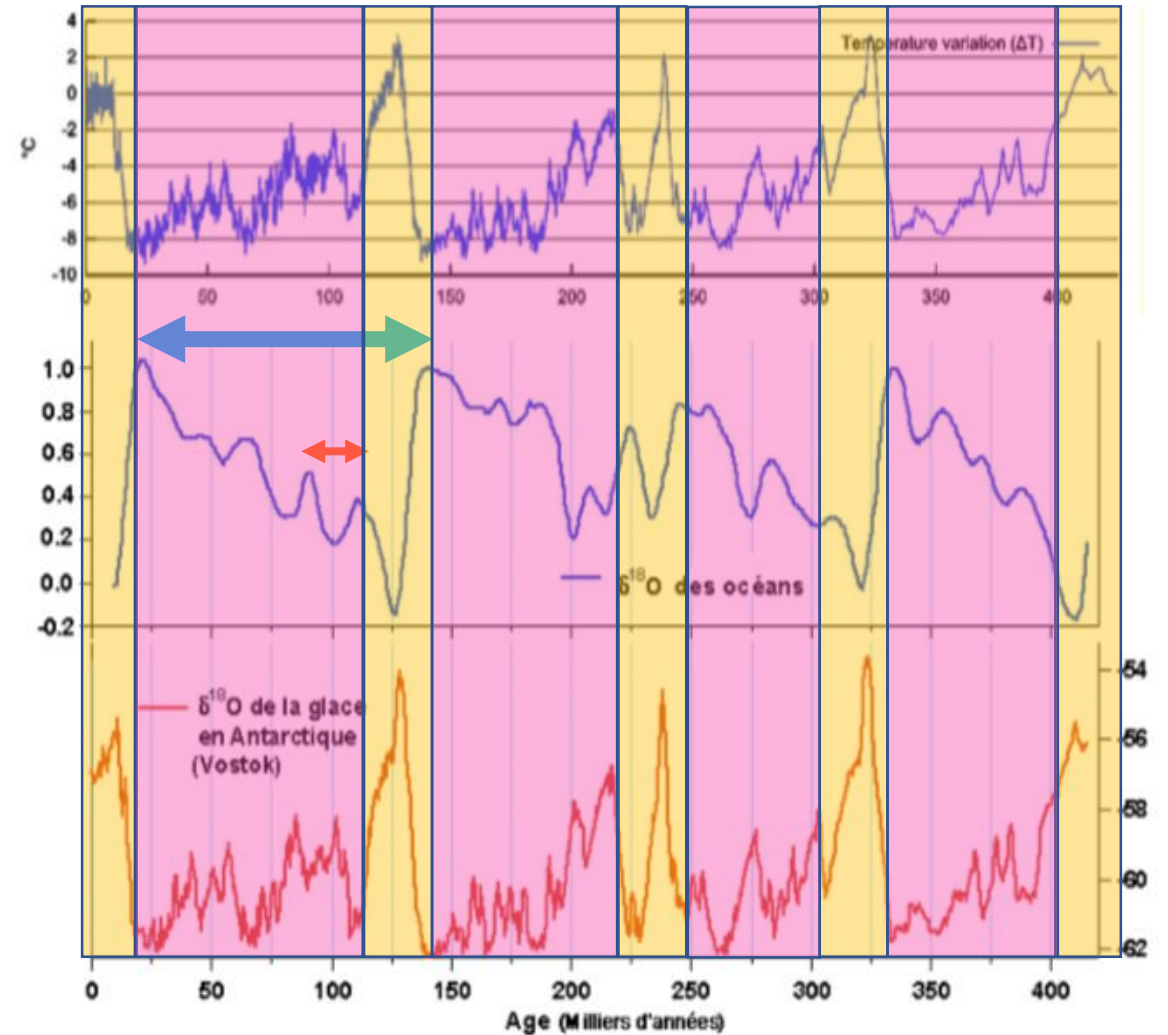


→ On parle de la **théorie astronomique de Milankovitch** qui explique l'alternance des périodes glaciaires/interglaciaires

EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

- ✓ Observez-vous une certaine cyclicité temporelle dans ces données ?, A quoi peut être due cette cyclicité ?, Climatiquement, à quoi peut-elle correspondre ? Repositionnez ces périodes sur le graphique des températures atmosphériques.

Climatiquement parlant, on observe donc l'**alternance** entre les **périodes glaciaires** et **interglaciaires** du Quaternaire.

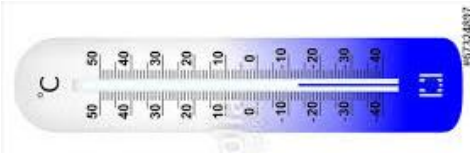


EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

- ✓ A part la température atmosphérique, quels autres changements majeurs peuvent exister entre une période glaciaire et interglaciaire ?

Période glaciaire

- Température moyenne plus basse ($\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$)



Période interglaciaire

- Température moyenne plus élevée

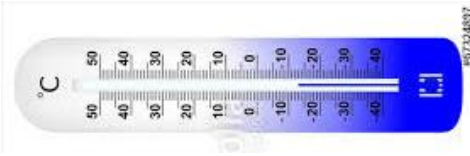


EXERCICE 2 Signal isotopique des 400 derniers ka

- ✓ A part la température atmosphérique, quels autres changements majeurs peuvent exister entre une période glaciaire et interglaciaire ?

Période glaciaire

- Température moyenne plus basse ($\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$)



Période interglaciaire

- Température moyenne plus élevée



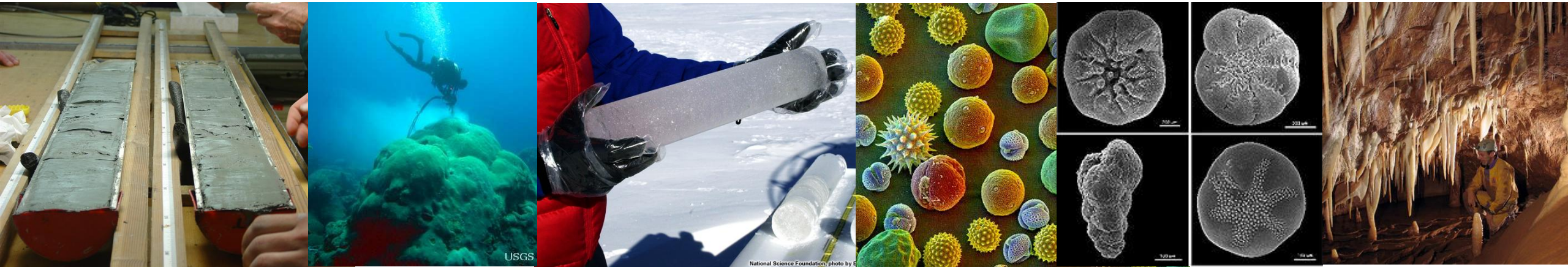
- Circulation océanique
- Circulation atmosphérique
- Extension des calottes de glace
 - Niveau marin
 - Végétation
- Poussières minérales
- Productivité primaire marine ou continentale
- ...

Module « Système Terre, Climats, Energies »

Partie 2 « Climat, Energies »

GO111

TP2 – Les climats du passé *(TP associé aux CM 5 à 7)*



Partie 1. Les isotopes stables de l'oxygène et leur intérêt en paléoclimatologie

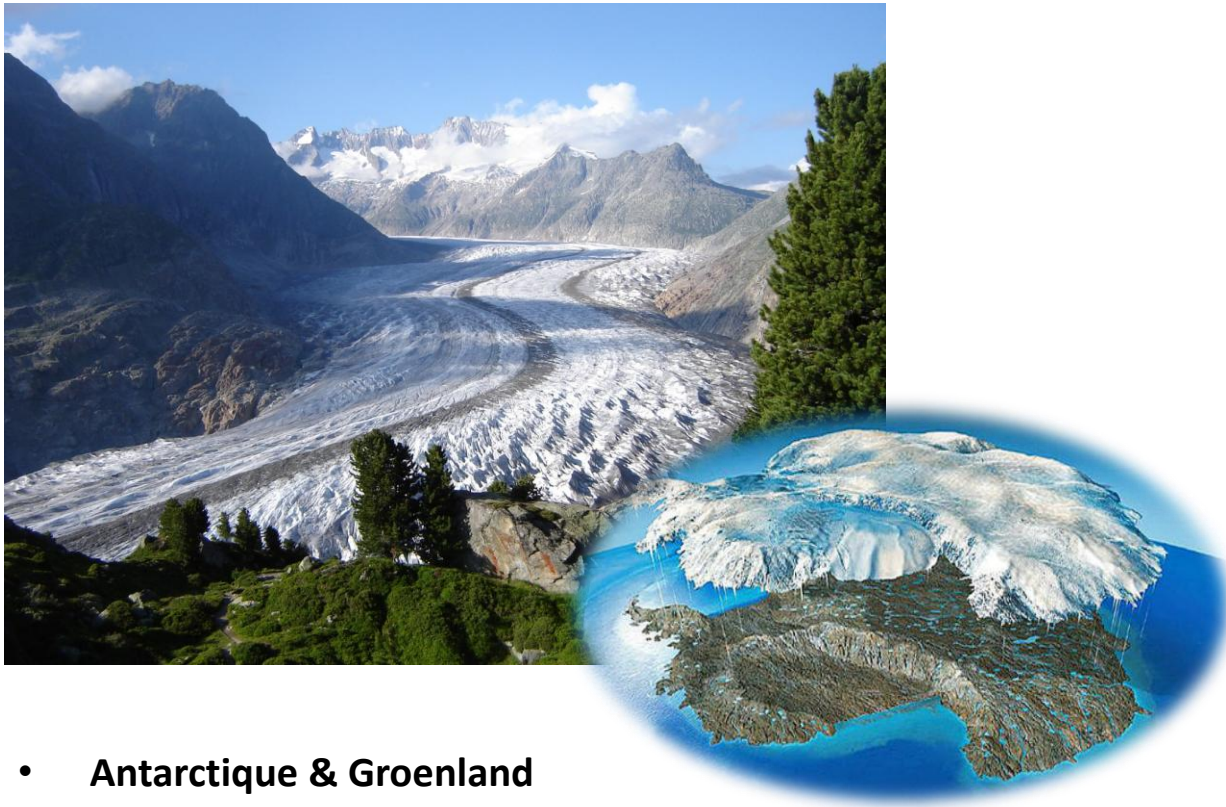
Partie 2. Les variations du niveau marin (EXERCICE NOTÉ)

RAPPELS

Il existe **2 sortes** de glaces sur Terre :

Glaces continentales

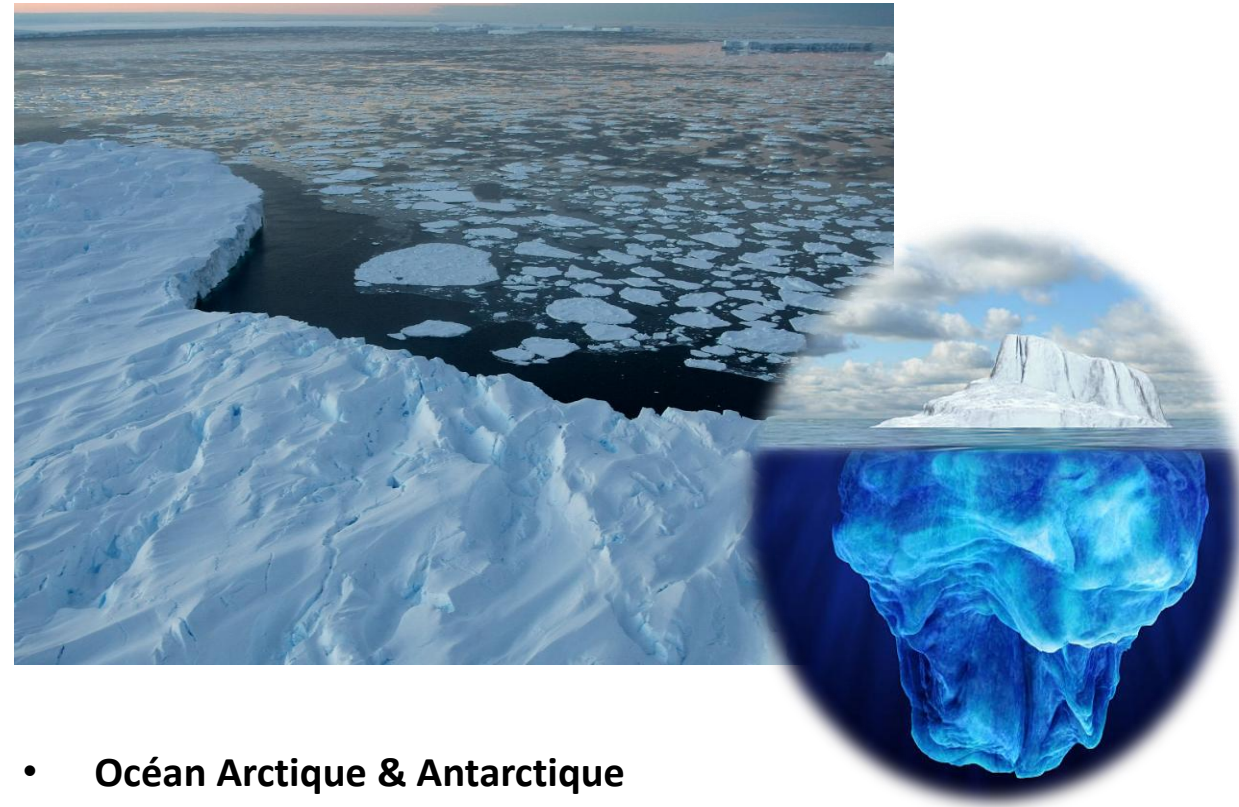
- Glaciers de montagne
 - Calottes



- **Antarctique & Groenland**

Glace de mer

- Icebergs
- Banquises



- **Océan Arctique & Antarctique**

RAPPELS

Volume des glaces continentales :

Glaces continentales

- Glaciers de montagne
 - Calottes

$29 * 10^6 \text{ km}^3$



$2,5 * 10^6 \text{ km}^3$



$0,2 * 10^6 \text{ km}^3$



- **Antarctique & Groenland**

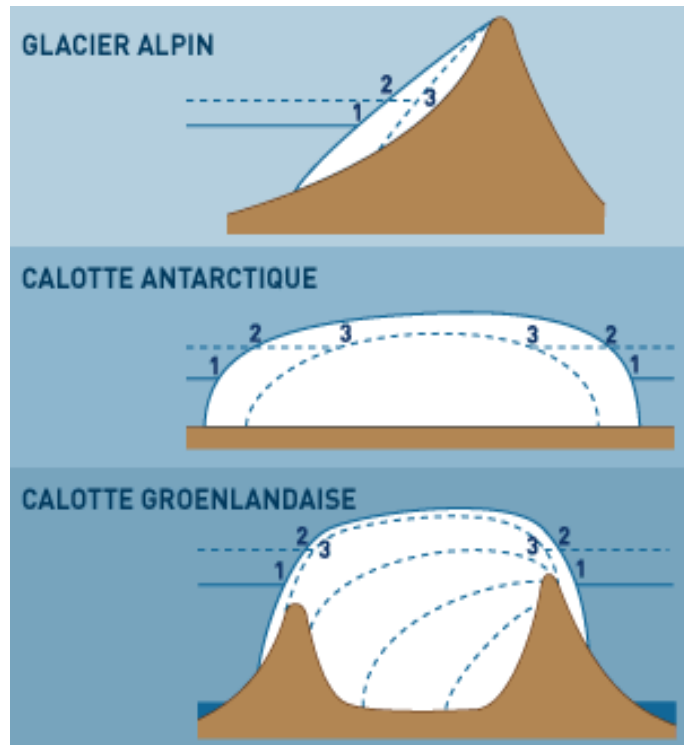
Mécanismes acteurs des variations du niveau marin

- Il existe 2 mécanismes principaux pouvant engendrer une variation du niveau marin :

Mécanismes acteurs des variations du niveau marin

- Il existe **2 mécanismes** principaux pouvant engendrer une **variation du niveau marin** :

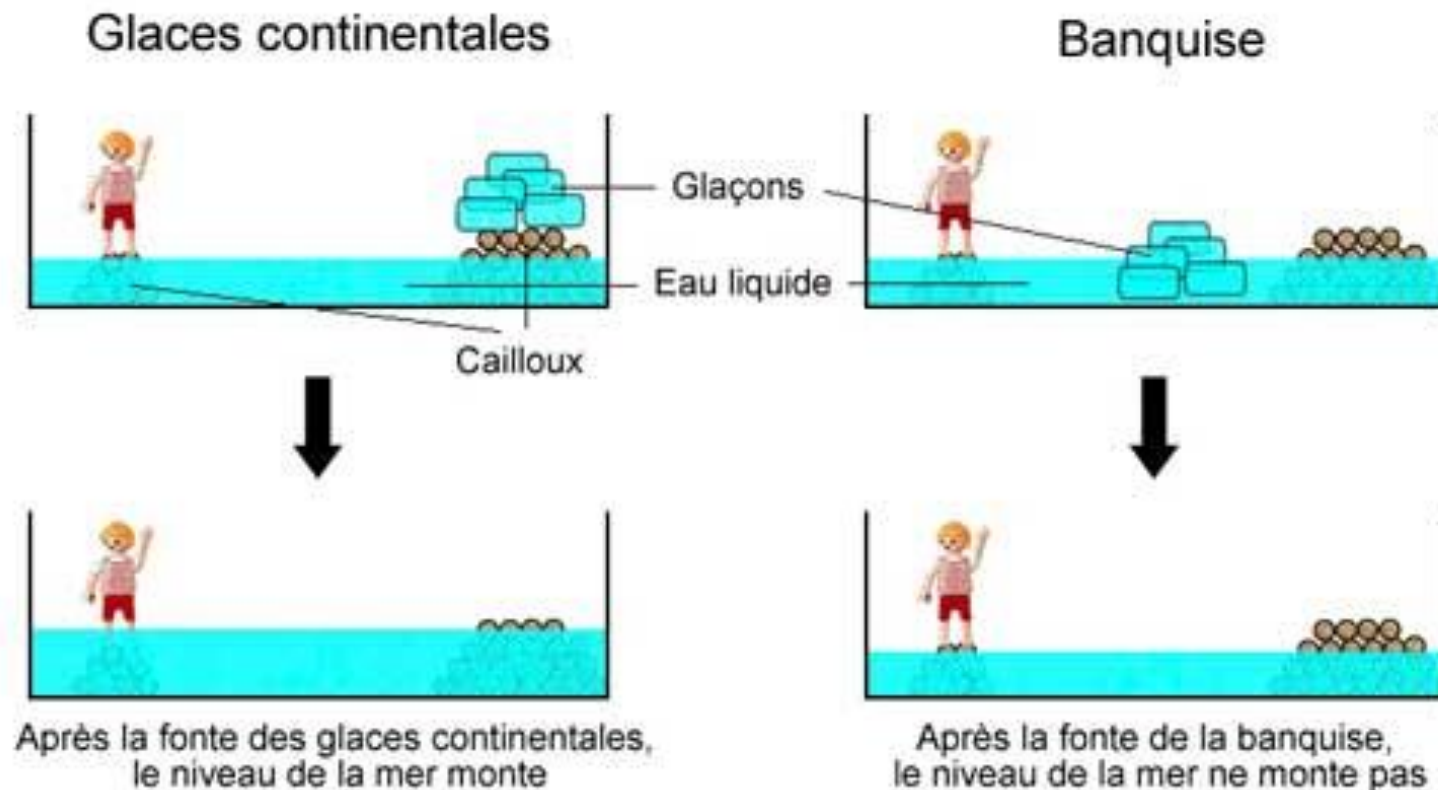
La fonte/l'accumulation de glace sur le continent
(calottes, glaciers de montagne)



Mécanismes acteurs des variations du niveau marin

! ATTENTION !

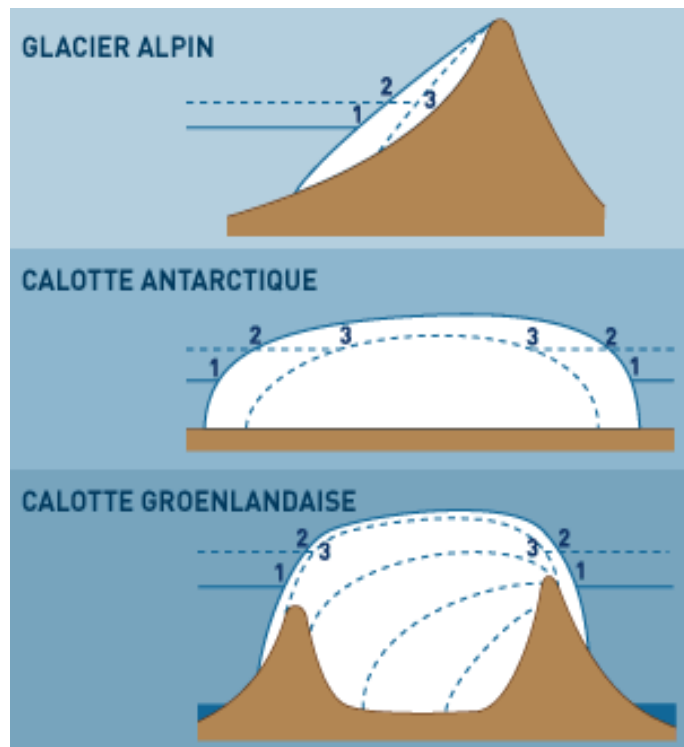
La fonte de la banquise (glace de mer) n'impacte pas le niveau de la mer !



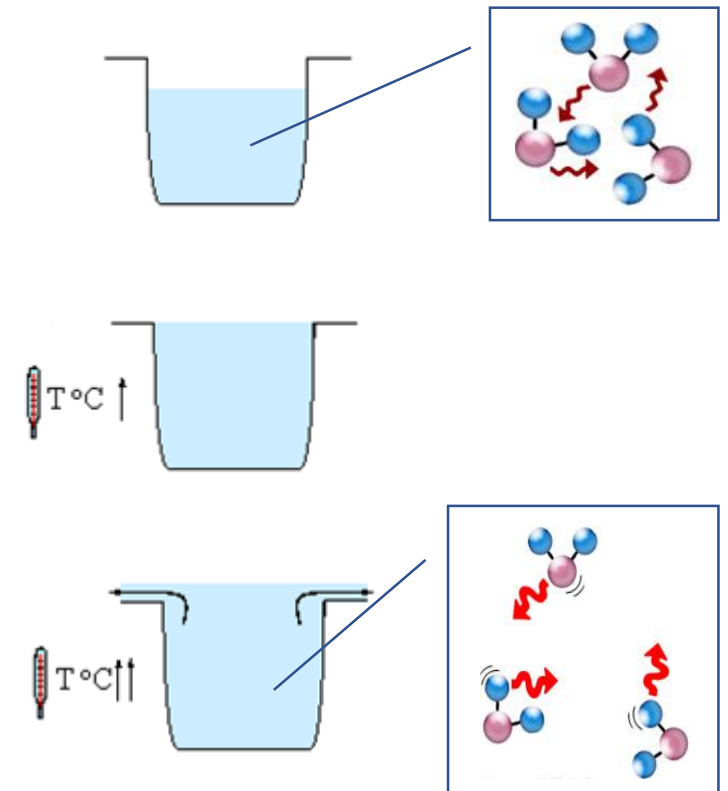
Mécanismes acteurs des variations du niveau marin

- Il existe **2 mécanismes** principaux pouvant engendrer une **variation du niveau marin** :

La fonte/l'accumulation de glace sur le continent (calottes, glaciers de montagne)



La dilatation thermique

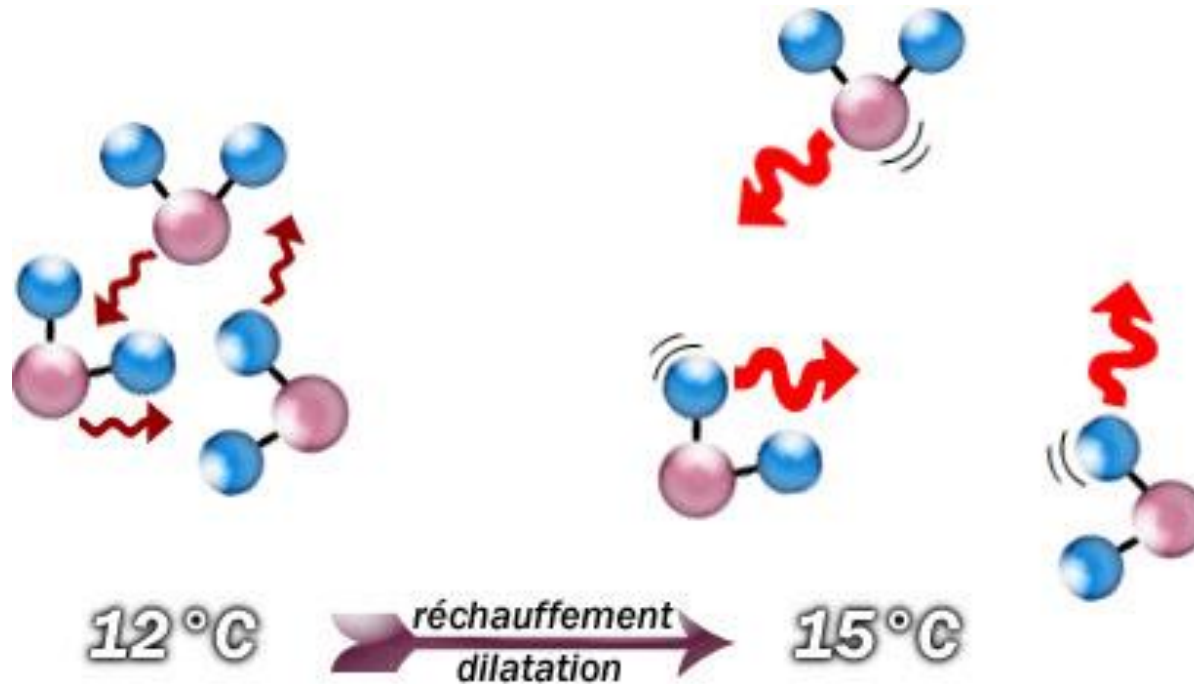


RAPPELS

DEF : Dilatation thermique de l'eau

- Il s'agit de l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionné par son réchauffement
= SOUS L'EFFET DE LA CHALEUR L'EAU SE DILATE/PREND DE LA PLACE !

Fréquence et violence
des collisions des molécules
d'eau MOINS INTENSE



Fréquence et violence
des collisions des molécules
d'eau PLUS INTENSE

EXERCICE 1 Variations passées du niveau marin

Partie A – Premières migrations humaines en Amérique

Partie B – La grotte préhistorique de Cosquer (Marseille), un témoin des variations climatiques

EXERCICE 1 Variations passées du niveau marin

Partie A – Premières migrations humaines en Amérique



Figure 1: Reconstitution de l'extension des calottes d'Amérique du Nord et de la morphologie côtière au dernier maximum glaciaire (période la plus froide, il y a environ 20 000 ans).

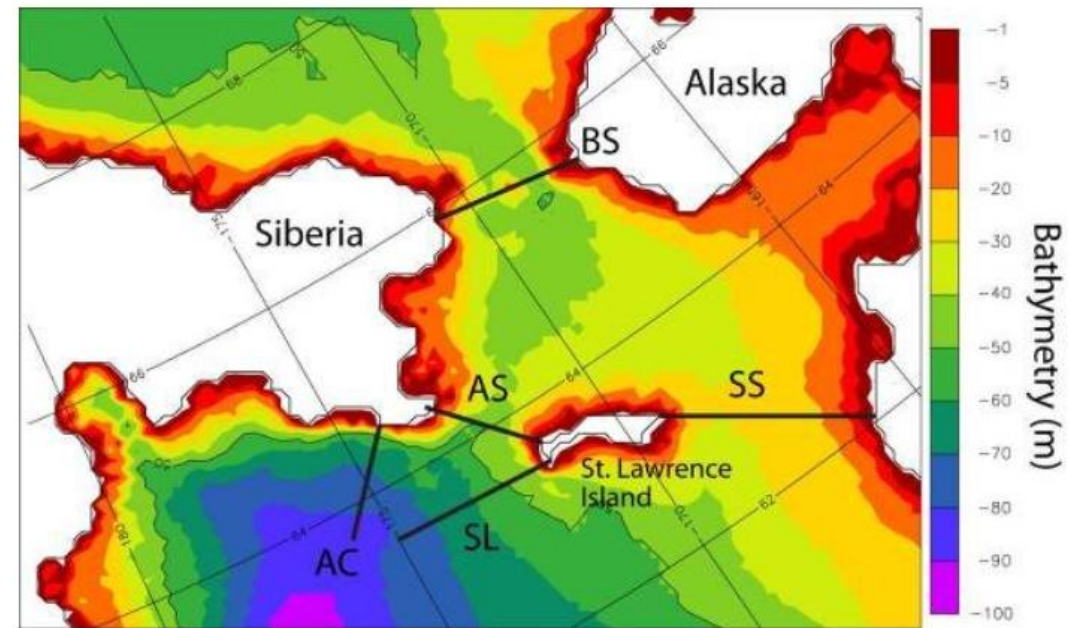
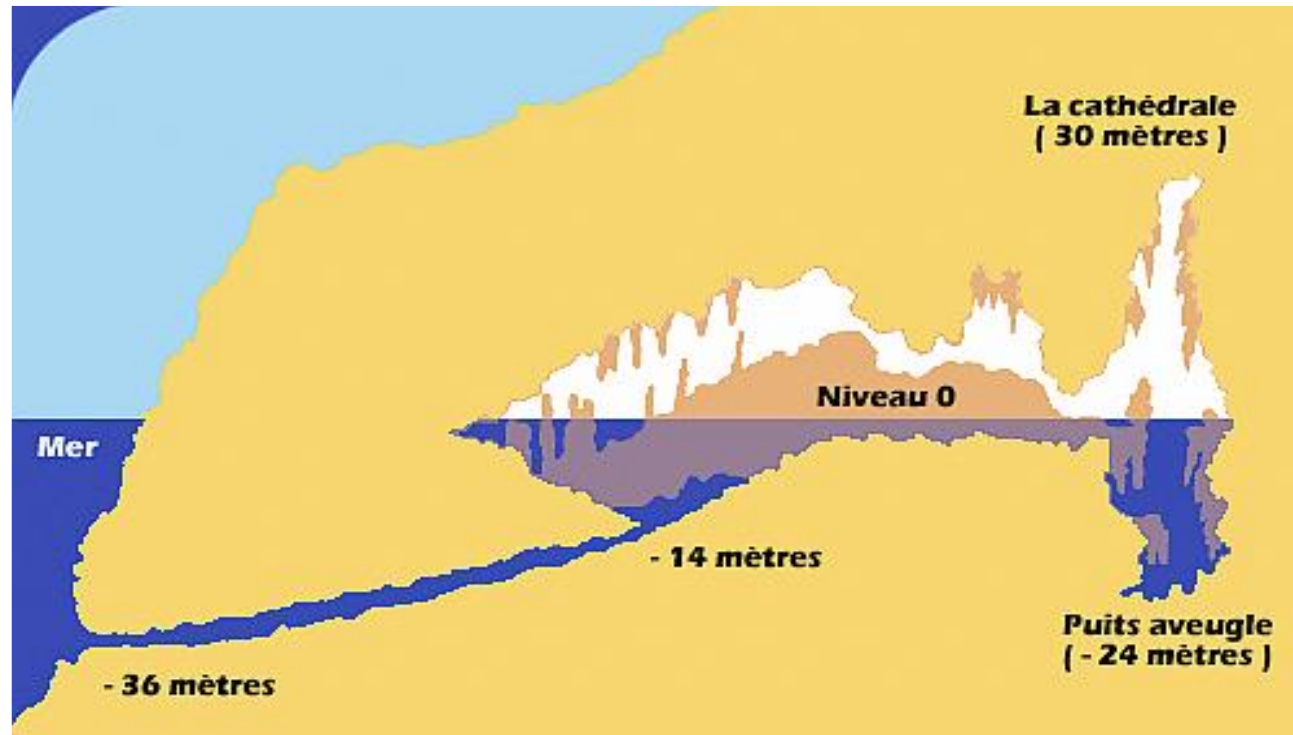


Figure 2: Carte bathymétrique du Déroit de Behring

EXERCICE 1 Variations passées du niveau marin

Partie B – La grotte préhistorique de Cosquer (Marseille), un témoin des variations climatiques



Coupe de la grotte Cosquer (Marseille) et peinture rupestre retrouvée sur les parois de la grotte.