

# BG-C LE CLIMAT DE LA TERRE (BCPST 1 et 2)

*La compréhension du fonctionnement du système climatique nécessite l'analyse des échanges d'énergie au sein des enveloppes externes de la Terre.*

*Cette partie permet d'appréhender l'importance des circulations atmosphérique et océanique dans la redistribution de l'énergie à la surface du globe. Elle aborde ensuite le climat et ses variations naturelles aux différentes échelles de temps.*

*Elle traite des changements climatiques actuels, notamment l'augmentation des températures de surface, liés à l'activité humaine, en lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Elle s'appuie sur la variété des observations concordantes qui, couplées à la compréhension de la physique et de la chimie du système, permettent d'établir des scénarios probables pour l'évolution future du climat de notre planète.*

*Les effets de ces changements climatiques sur la biodiversité sont également appréhendés.*

Savoirs visés	Capacités exigibles
<b>BG-C-3 Climat et variabilité climatique (4h)</b>	
<b>BG-C-3-1 Variabilité climatique à courte échelle de temps</b>	
<p>La mousson est la conséquence des forts contrastes thermiques qui se créent entre l'océan et le continent et qui modifient le régime des vents, en lien avec la position de l'équateur météorologique. Ces grandes amplitudes de températures observées résultent essentiellement d'influences géographiques.</p>	<p>- Exploiter des données montrant le lien entre la circulation atmosphérique, la circulation océanique et la mousson.</p>
<p><b>Précisions et limites :</b>  <i>Il s'agit ici de présenter un exemple de couplage climatique océan – atmosphère de courte échelle de temps (interannuel à <u>multidécennal</u>). Seul l'exemple de la mousson est exigible. Les mécanismes physiques sous-jacents sont présentés mais ne sont pas démontrés.</i></p>	

## Le Petit Age de Glace: un grand changement récent





### BG-C-3-2 Marqueurs climatiques et variabilité à longue échelle de temps

L'étude des paléo environnements, sur la base des archives sédimentaires et fossiles, permet de reconstituer la variabilité climatique temporelle à l'échelle locale et la paléozonéographie climatique à l'échelle globale.

Les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques sont pilotées par des facteurs géologiques, biologiques, et physico-chimiques.

Certains de ces facteurs se reconnaissent aux temps caractéristiques des signaux induits (de 10 ka à 400 ka pour les paramètres orbitaux jusqu'à plusieurs dizaines de Ma pour les processus géologiques).

Les variations de concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique et les variations climatiques sont corrélées. Il existe des rétroactions entre les différentes enveloppes terrestres qui déterminent l'échelle de temps de réaction du système climatique à une perturbation et son possible retour à un état stationnaire.

- Reconstituer à une échelle locale un paléoenvironnement à partir de l'étude d'une carte géologique au 1/50 000.

- Comparer à une échelle globale des glaciations paléozoïques (Ordovicien et Permo-Carbonifère) en identifiant les contributions d'ordre biologiques et géologiques.

- Identifier l'effet des paramètres orbitaux dans les archives sédimentaires et discuter des limites des interprétations possibles.

- Discuter la synergie des apports éoliens de fer dans l'océan et des paramètres orbitaux dans les entrées en glaciation.

- Quantifier l'effet de la formation de chaînes de montagnes et de leur altération sur le climat à l'échelle des temps géologiques (altération des silicates, mousson, variations de l'albedo).

- Montrer que l'augmentation des températures diminue la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'océan et donc diminue le pompage physique du carbone dans l'océan.

-Évaluer les effets d'une perturbation du système climatique en termes d'amplitude et de temps de retour à l'équilibre du système : cas d'un forçage naturel (volcanisme et GES) et d'un forçage anthropique.

#### **Précisions et limites :**

*Les processus mis en jeu doivent être connus. Les forçages mis en jeu dépendent de l'échelle de temps considérée. Les variations climatiques naturelles sur toutes les échelles de temps ainsi que le changement anthropique s'appuient sur ce qui a été vu en lycée en les complétant, notamment concernant les outils isotopiques ( $\delta^{18}O$  et  $\delta^{13}C$ ).*

## BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

### Projections climatiques et réchauffement actuel

Le réchauffement climatique observé est attribué à l'augmentation des GES liée à l'activité humaine et la modification de l'usage des terres.

Les projections climatiques montrent que l'amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.

- Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.

### Quelques impacts du changement climatique sur la biodiversité

Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité.

- Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces.

Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés.

Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations.

Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent.

Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.

- Exploiter des données montrant des adaptations (au changement climatique :

- à l'échelle des organismes (adaptations physiologiques) ;
- des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition) ;
- des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).

### Précisions et limites :

*On s'intéresse dans cette partie au paramètre « augmentation de température » du changement climatique, parmi de nombreux autres changements, dont une modification des régimes de précipitations et de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes.*

*Cette partie est l'occasion de montrer comment se construisent des savoirs scientifiques, en intégrant les incertitudes sur les données et sur les modèles. L'incertitude est un degré de connaissance incomplète, elle peut être représentée par des mesures quantitatives (probabilités) ou qualitatives (dire d'experts) ce qui est fait dans les travaux du GIEC. Concernant les scénarios d'évolution climatique, il s'agit ici essentiellement de rappel de lycées. Les nouveaux concepts concernent la description des différents types d'incertitude. Concernant l'évolution de la biosphère, on prendra un nombre limité d'exemples d'impacts du changement climatique.*



Disette consécutive à la canicule de 1779, éruption du volcan Lakie (1783), sécheresse de 1785 et 1788 provoquant le doublement du pris du blé: l'agrométéo



*La Disette du pain. An 4.*

*Dans cette fâcheuse année, des femmes faisoient cuire dans les places publiques des Choux et autres blacines qu'elles vendoient aux ouvriers, et aux pauvres so sous chaque assiettes, et n'en n'avoit pas qui vouloit.*

*Vendeur d'argent  
au péron du palais royal*

*Des Rentiers vendent leurs  
derniers effets.*



## Glacier des Alpes

Du petit âge glaciaire à aujourd' hui. Aquarelle de Samuel Birnam (1823) et photographie actuelle. La mer de glace atteignait les Prats et elle se trouve 1000 m au-dessus actuellement.





# Introduction

Le climat terrestre découle au premier ordre des interactions entre l'énergie solaire incidente et les enveloppes externes de la planète.

Mais qu'est-ce que le climat ?

Etude des statistiques de variables atmosphériques sur une longue période de temps (30 ans par convention) qu'il ne faut pas confondre avec la météo, étude des phénomènes atmosphériques pour prévoir le temps.

Ainsi quand on parle de climat on raisonne à l'échelle de la décennie, du siècle voire de plusieurs centaines de milliers d'années alors que lorsqu'on parle de météo, on raisonne à l'échelle de quelques jours.

Projections climatiques : établissement des probabilités de changement à long terme des statistiques des variables climatiques futures

Prévisions météo : prédictions du temps au quotidien pour des moments spécifiques à venir.

La variabilité naturelle du climat se manifeste sur les échelles de temps diverses (annuelles mais aussi plusieurs centaines de milliers d'années) et peut être déduite de différents types d'archives géologiques.

Ceci nous conduit d'imposer les problématiques suivantes :

- Quelles sont les manifestations de cette variabilité climatique à court ou à long terme ?
- Quels sont les facteurs à l'origine de cette variabilité ?
- Quels sont les impacts des activités humaines sur le climat ?



# **BG-C LE CLIMAT DE LA TERRE**

## **INTRODUCTION**

**I. LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE À COURTE ÉCHELLE DE TEMPS :  
LA MOUSSON**

**II. L'ARCHIVAGE CLIMATIQUE À LONGUE ÉCHELLE DE TEMPS**

**III. VARIABILITÉ DES CLIMATS ET PALÉOZONÉOGRAPHIE**

**IV. LES FACTEURS AGISSANT SUR L'ÉVOLUTION DES CLIMATS**

**V. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : CONSTATS ET PERSPECTIVES**

**CONCLUSION**

# **I. LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE À COURTE ÉCHELLE DE TEMPS : LA MOUSSON**

**I.1. La mousson d'été indienne**

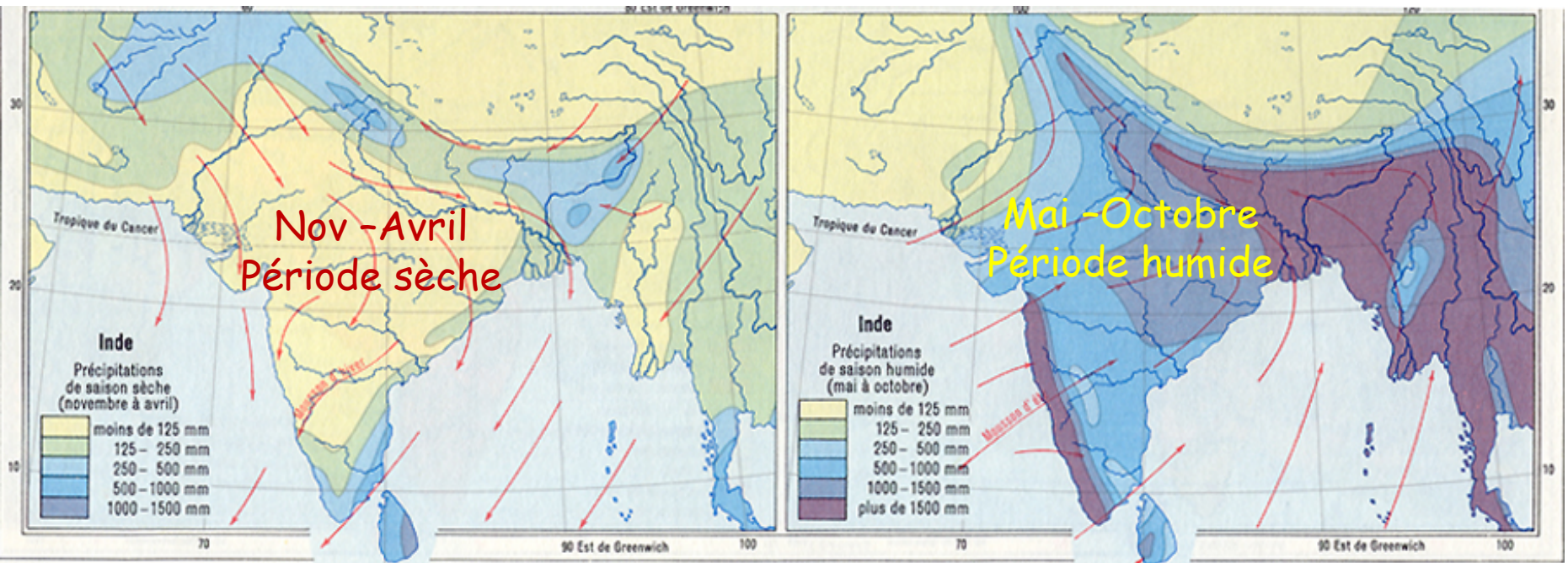
**I.2. La mousson d'hiver indienne.**

**I.3. Les autres moussons dans le monde**

**I.4. Peut-on prévoir la mousson ?**



# Climat 1 : Carte de pluviométrie en Inde (<https://www.ontheroad-again.com/>)



Mousson d'été : juin- septembre, précipitations abondantes renouvellement des réserves.

Forts épisodes pluvieux (1 à 3 j) /périodes calmes.

Pluies violentes et dévastatrices

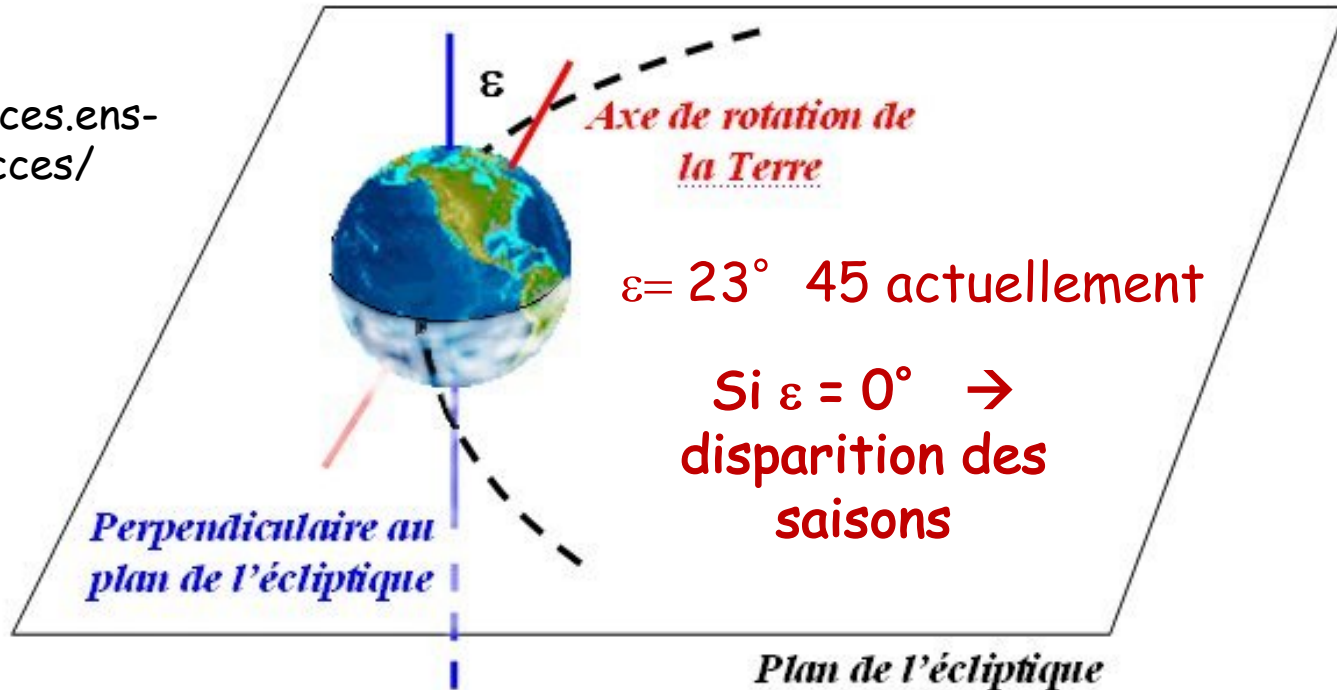
Refroidissement temporaire du sol → ralentissement de la convection → périodes calmes d'un quinzaine de jours.

Variabilité de l'ordre d'un mois.

**Référentiel géocentrique** : Terre tourne sur elle-même autour de son axe de rotation (24h).

**Référentiel terrestre** : la voûte céleste semble tourner autour d'une étoile fixe : l'étoile polaire. Axe de rotation de la Terre dirigé vers elle

<http://accs.ens-lyon.fr/accs/>

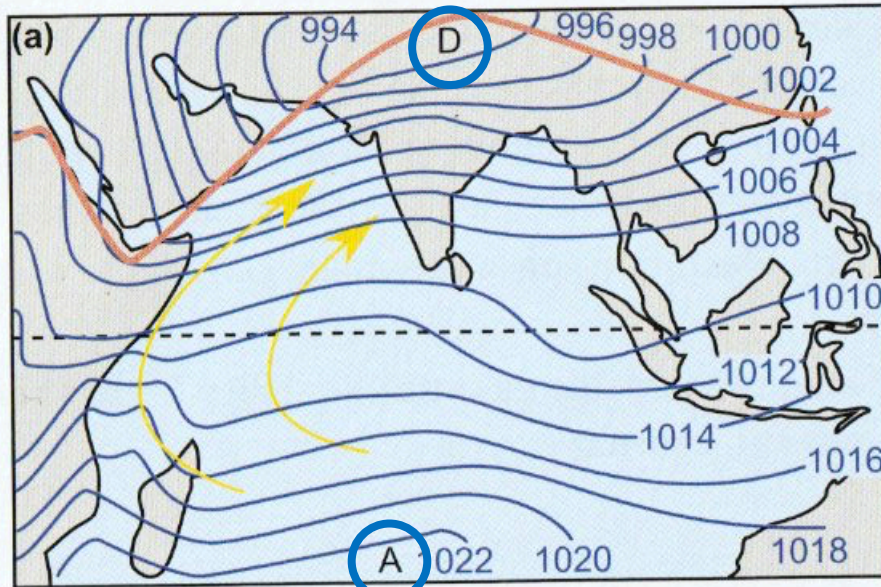


Axe de rotation de la Terre incliné par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). L'obliquité caractérise l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre : angle epsilon entre l'axe de rotation de la Terre et la perpendiculaire au plan de l'écliptique moyen de la Terre.



## Climat 2 : La mousson indienne d'été (a) et d'hiver (b) (Dunod Tout-En-Un, 2022)

A : anticyclone ; D : dépression. Courbes isobares en bleu (mbar)



Cette mousson humide d'été (Mai-Octobre) s'apparente alors à une brise de mer.

— zone de convergence intertropicale (équateur météorologique) — vents

Été : inclinaison de l'axe de la Terre → zone de convergence intertropicale décalée vers le Nord → Inde située au Sud balayée par les alizés venant du Sud → surchauffe de l'Inde → ascendance (zone de dépression = D)

Inversement, O.Indien conserve une  $T^{\circ}C$  plus basse → air plus dense → zone de haute pression (zone anticyclonique = A)

Résultat: gradient de P → Alizés venant du Sud + force de Coriolis → Inde située balayée par vents SW-NE chargés d'H%

Himalaya = facteur aggravant de la mousson à cause du relief → ascendance, phénomène de convection et précipitations.

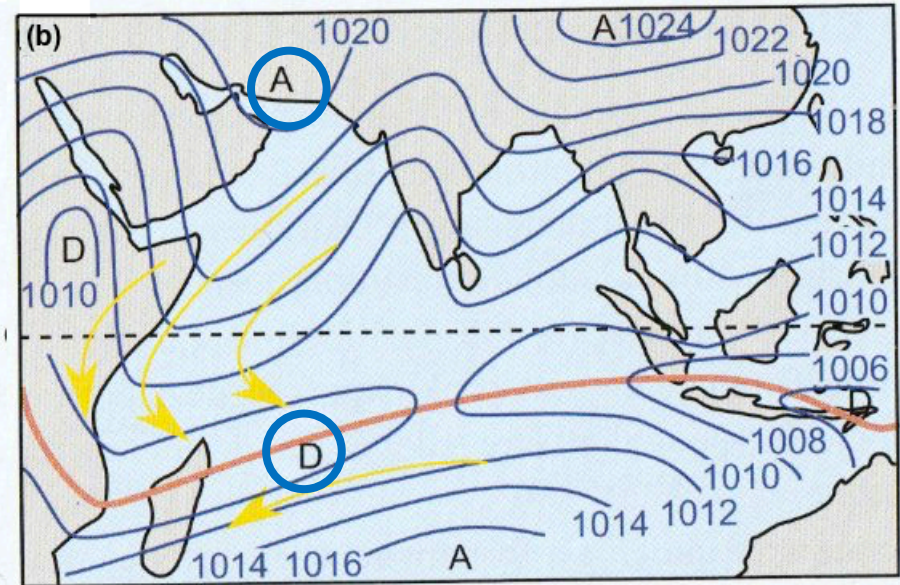
Inertie thermique → contraste thermique entre terre estivale surchauffée et océan hivernal frais maximal environ 6 semaines après solstice d'été (21/06 = moment où soleil le plus éloigné de l'équateur)

Intensité de la mousson maximale en juillet puis décroît à mesure que le continent asiatique se rafraîchit puis arrêt entre fin septembre et fin Octobre

## Climat 2 : La mousson indienne d'été (a) et d'hiver (b) (Dunod Tout-En-Un, 2022)

A : anticyclone ; D : dépression. Courbes isobares en bleu (mbar)

Cette mousson  
sèche d'hiver  
(Novembre-Avril)  
s'apparente alors à  
une brise de terre.



— zone de convergence intertropicale  
(équateur météorologique)

→ vents

Hiver : décembre à mars → zone de convergence intertropicale décalée vers le Sud → air plus dense → zone de haute pression (zone anticyclonique = A)

Inversement, O.Indien conserve une  $T^{\circ} C$  plus élevée → ascendance (zone de dépression = D)

Résultat: gradient de  $P$  → Alizés venant du Nord, secs, déviés vers la G dans l'H. Sud → Inde située balayée par vents NE-SW, froids et secs → temps plutôt sec et ensoleillé d'Oct à Avril.

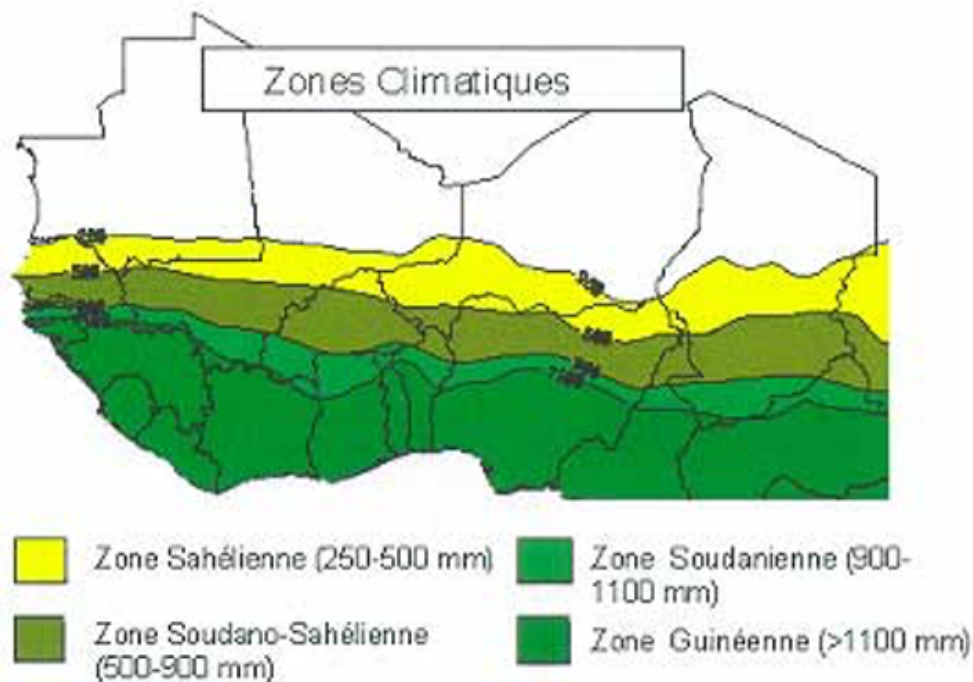


### Climat 3 : Les autres moussons (a) et la mousson africaine (b)

Régime de mousson en Afrique de l'Ouest. La zone saharienne fonctionne comme zone cyclonique (D). Le décalage vers le nord de la zone de convergence intertropicale permet la venue sur l'Afrique subsaharienne d'alizés venus du Sud, chargés d'humidité du fait de leur passage au-dessus du Golfe de Guinée. La zone de pluie reste cependant limitée.



Régime de mousson en régions tropicales: Amérique, Afrique, Asie, Australie, et sur les Oc Ind et Oc. Pac O.



# Bilan

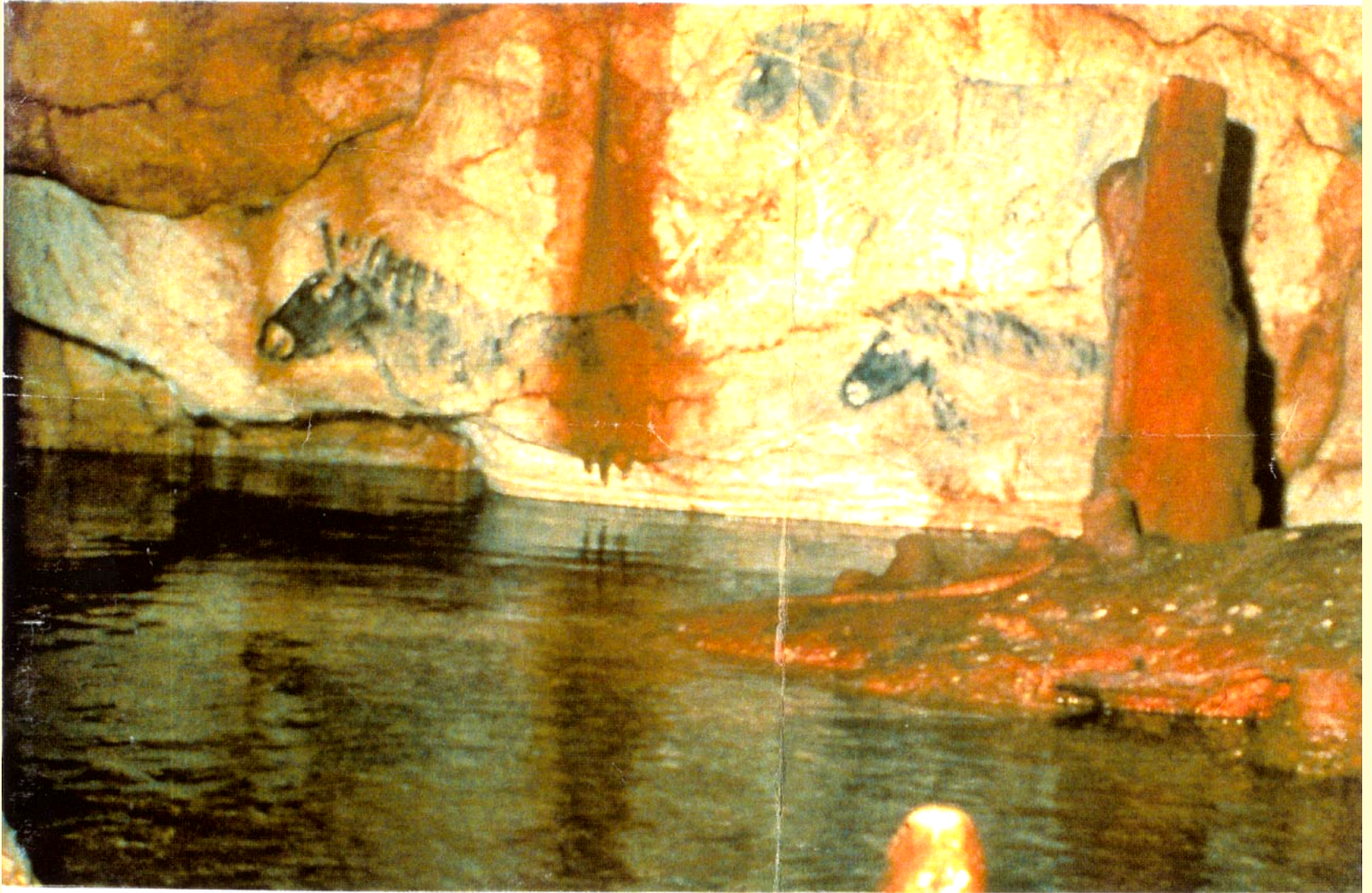
Mousson = phénomène saisonnier

Conséquence d'un fort contraste thermique  
Océan / continent → modification du régime des  
vents en lien avec la position de l'équateur  
météorologique.

Alternance saison humide / saison sèche =  
différentiel d'apport en énergie solaire entre HN  
et HS + réchauffement plus rapide sur les  
continents que sur les océans.



## **LA GROTTTE COSQUER (France)**



**Gravures et peintres de 18500 BP, faune de climat froid  
(phoques, bouquetins, chamois, pingouins)**

## Climat 4 La grotte Cosquer

Découverte en 1985 lors d'une plongée sous-marine dans les calanques de Marseille, elle recèle des gravures et des peintures datées de -18 500 ans représentant une faune de climats froids (phoques, Bouquetins, Chamois, pingouins) et l'entrée de la grotte située à - 37m sous le niveau de la mer, se trouvait alors à 112 m plus haut.





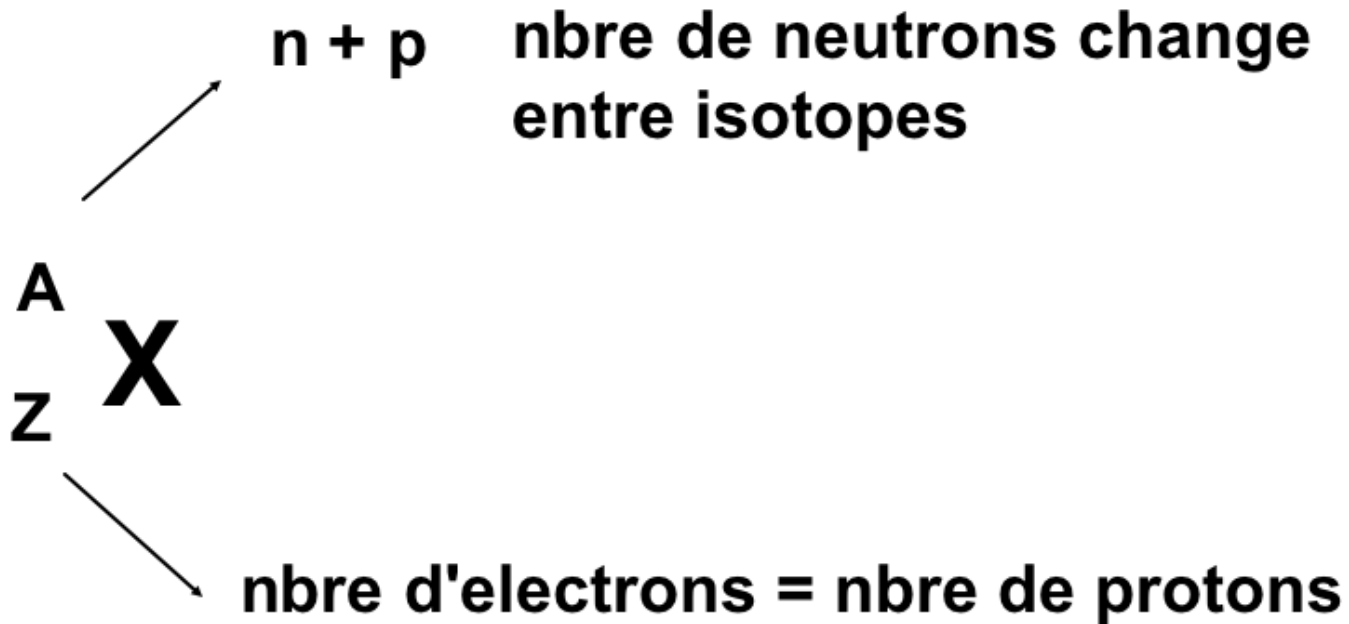
## II. L'ARCHIVAGE CLIMATIQUE À LONGUE ÉCHELLE DE TEMPS

### II.1 – Les isotopes de l'O<sub>2</sub> outil primordial

#### A. Les rapports isotopiques de l'O<sub>2</sub>

#### B. Les variations du delta <sup>18</sup>O dans les glaces

1. Le fractionnement isotopique
2. Évolution du delta <sup>18</sup>O et sa signification



# Les isotopes de l'oxygène

$^{16}\text{O}$ : 99,76 %

$^{18}\text{O}$ : 0,2 %

$^{17}\text{O}$ : 0,07 %



12,5 % de différence en masse -->  
même comportement mais cinétique #

$\text{H}_2^{18}\text{O}$  et  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  ont 11 % de différence en masse -->  
Sensibilité # par rapport à la température

Actuellement 1  $^{18}\text{O}$  pour 500  $^{16}\text{O}$

$$^{18}\text{O} = 2 \text{ ‰ } ^{16}\text{O}$$

Caractéristique de notre système solaire.

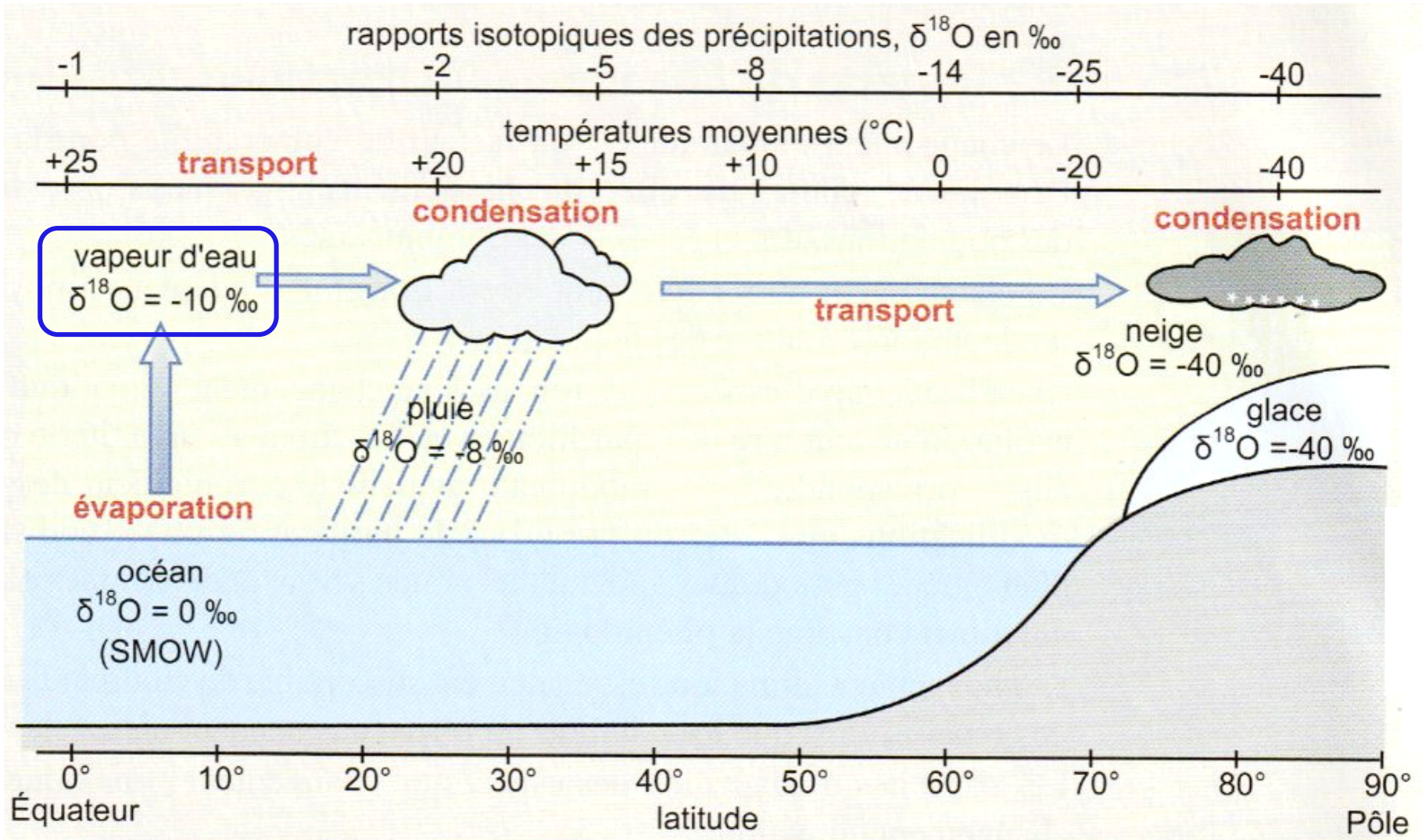
$$\delta^{18}\text{O} = \left\{ \frac{\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}} - \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{SMOW}}}{\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{SMOW}}} \right\} \times 1000$$

SMOW = Standart Mean of Ocean Water.

# Climat 5 : Fractionnement isotopique du dioxygène sous l'effet du cycle externe de l'eau (évaporation et condensation) (in Dunod, Tout-En-Un, 2022)

Standard utilisé pour la composition de l'eau de mer moyenne : SMOW (Standard Mean Ocean Water).

Standard utilisé pour la composition des carbonates : PDB (Pee Dee Bee Formation) rostre de Belemnite d'une formation crétacée des États-Unis.



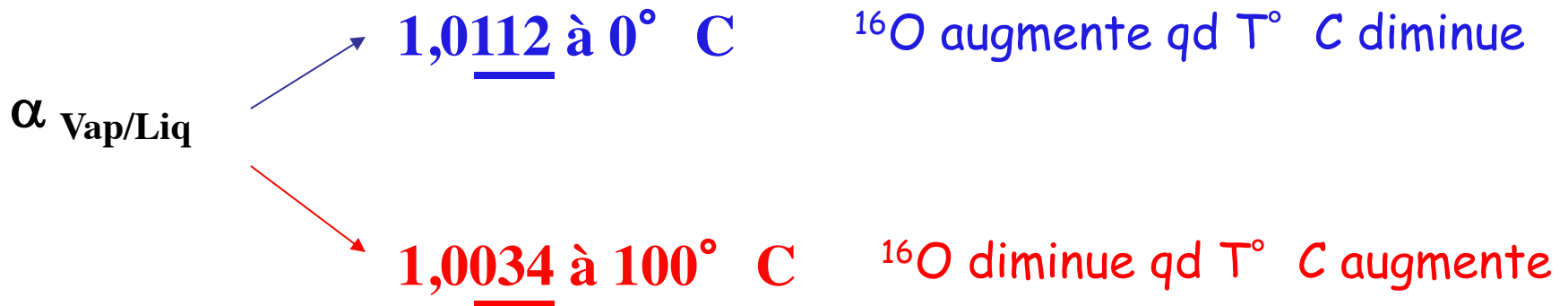


# Le fractionnement isotopique

Soient A et B deux phases (vapeur et liquide par exemple)

Soit  $R$  = rapport isotopique ( $^{16}\text{O} / ^{18}\text{O}$ )

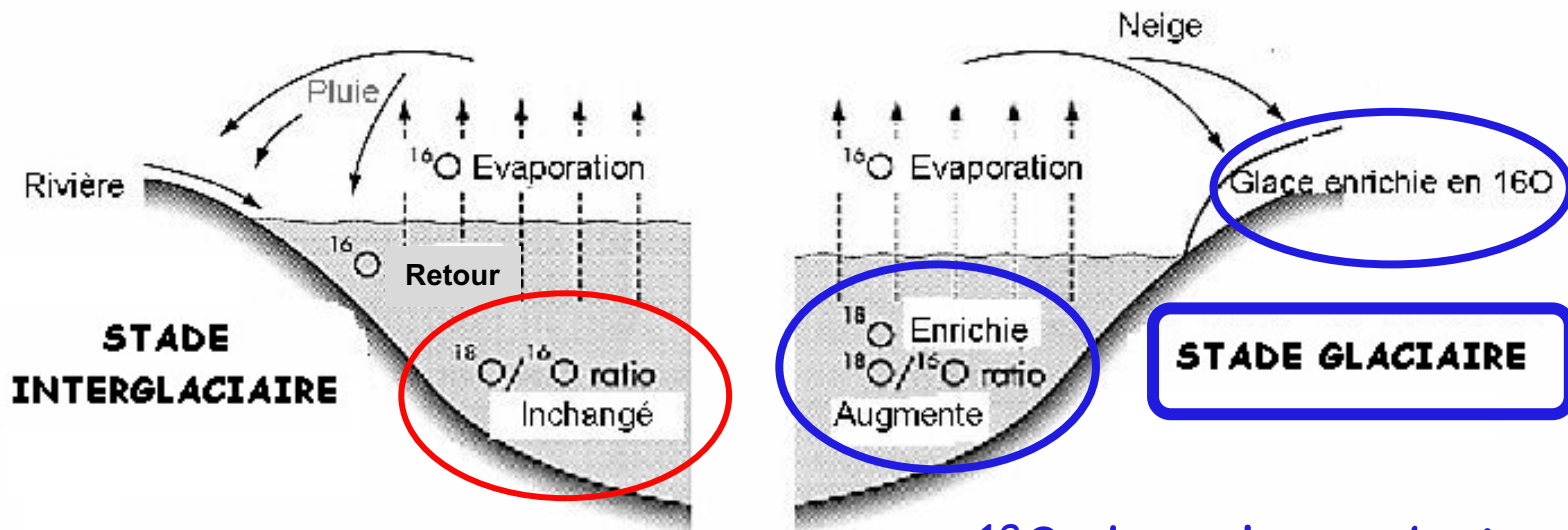
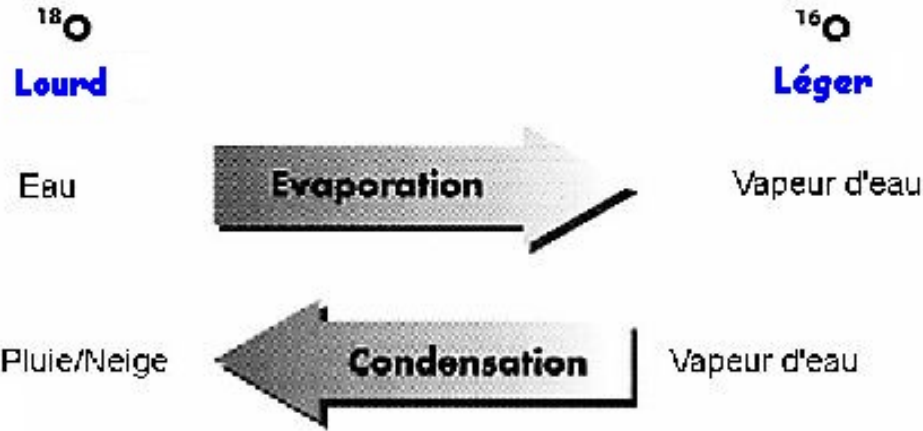
$$\alpha_{A/B} = R_A / R_B$$



Fractionnement d'autant plus grand que  
la température est basse

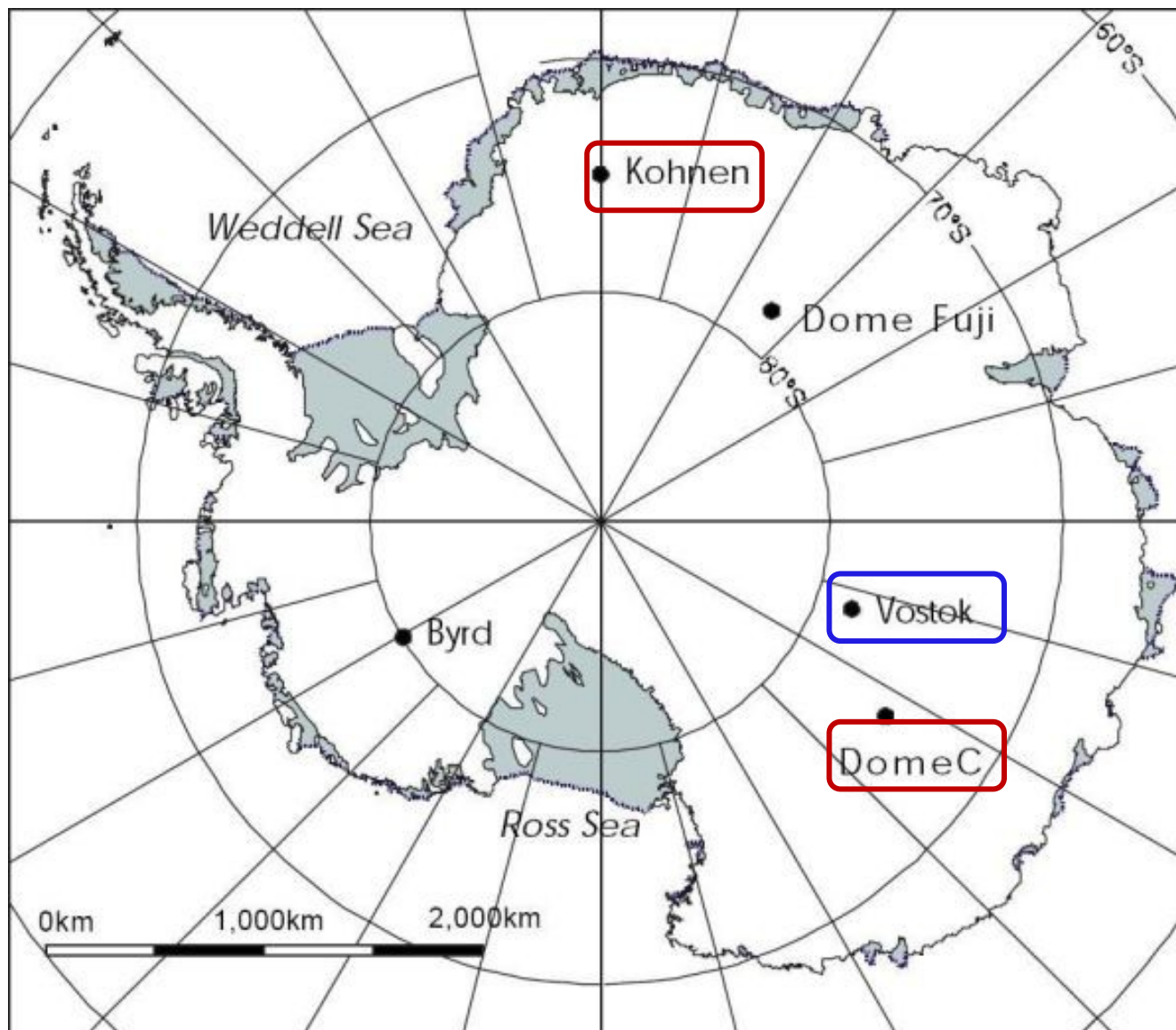
# Comportement des isotopes de l'oxygène selon les cycles glaciaires et interglaciaires

## LES ISOTOPES DE L'OXYGENE



$\delta^{18}\text{O}$  des glaces baisse  
 $\delta^{18}\text{O}$  des carbonates augmente

## Carte de localisation des forages antarctiques (in planet-terre, ENS LYON).



Projet EPICA  
programme  
européen

Station russe  
Forage > 2202m  
420 ka

Forage 3200m  
800 ka

## **II. L'ARCHIVAGE CLIMATIQUE À LONGUE ÉCHELLE DE TEMPS**

### **II.1 – Les isotopes de l'O<sub>2</sub> outil primordial**

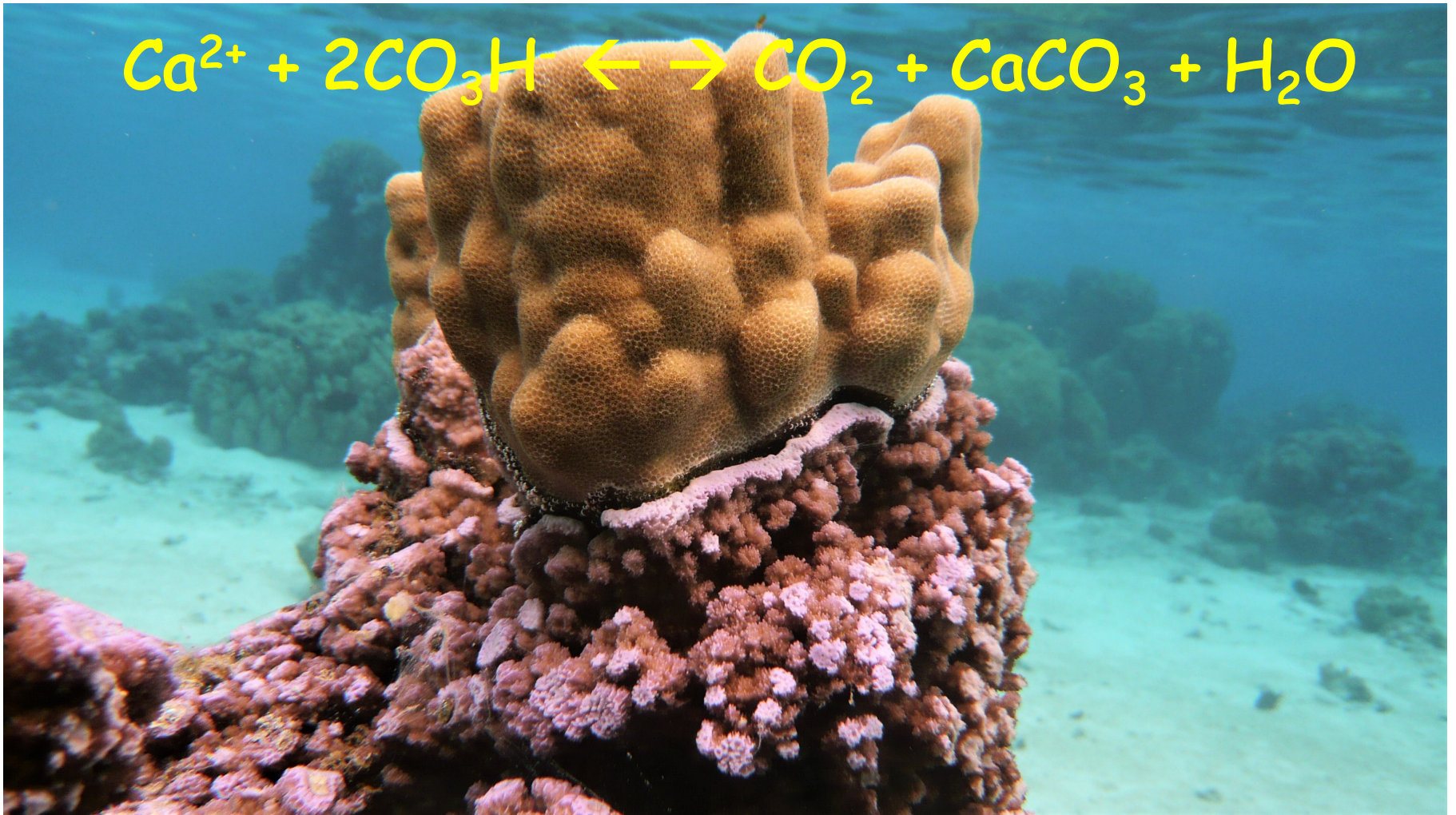
### **II.2 – Les coraux, archives climatiques marines**

#### **A. Écologie des coraux**

#### **B. Apports des coraux à la connaissance des variations climatiques**

1. Coraux témoins des variations du niveau marin
2. Coraux témoins de perturbations saisonnières
3. Les coraux, paléopluviomètres et paléothermomètres
4. Les coraux témoignent des variations d'ensoleillement





Diblastiques, coloniaux symbiose algue unicel photoS : la zooxanthelle  
T°: 21-29°, régions tropicales et intertropicales entre 30°N et 30°S.  
Eaux limpides sans apports terrigènes → passage de la lumière  
Faible profondeur (< 30 m de la surface) → passage de la lumière  
Eaux oligotrophes (pauvres en éléments nutritifs)



## Climat 6 : Reconstituer les variations du niveau marin à partir de l'étude d'un récif corallien

La partie gauche de la figure représente la structure du récif-barrière de Papeete (Tahiti), connue par forage. Les différentes couches ont été datées au  $^{14}\text{C}$ . Les principaux organismes constructeurs identifiés vivent dans une eau océanique peu profonde.

Le sommet de la construction était toujours situé à moins de six mètres sous la surface du niveau marin tout au long de sa croissance. La datation des coraux permet de tracer la courbe de croissance du récif, en associant l'âge des coraux à leur position dans le forage.

La courbe de remontée du niveau de la mer est obtenue après correction de la courbe précédente, en tenant compte de la profondeur de vie des coraux, à chaque point de la courbe. La partie droite de la figure montre qu'il y a 7 ka, le niveau de la mer est remonté de vingt mètres en moins de 2 ka.

