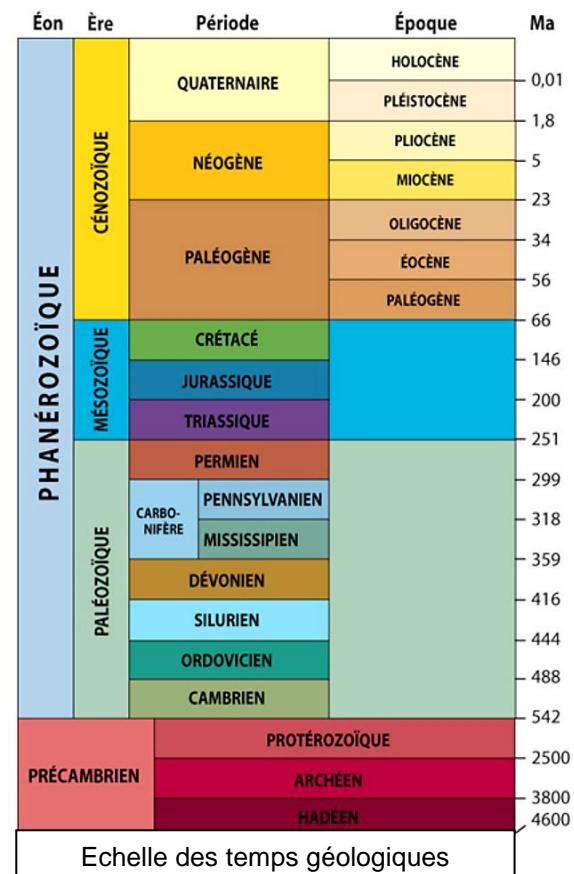


## Activité 1 – Les variations climatiques des 500 derniers millions d'années : Paléozoïque / Mésozoïque / Cénozoïque.

Reconstituez les grandes variations climatiques de la Terre depuis le Paléozoïque jusqu'à aujourd'hui.

Présentez votre travail à l'oral, accompagné d'un diaporama indiquant, pour chaque ère :

- les variations climatiques (périodes de réchauffement / de refroidissement) et leurs causes ;
- les indices scientifiques qui permettent de les identifier.



### I – Paléozoïque (542 - 251 Ma)

#### Manipulation A

Logiciel PaléoTerre (PC), onglet marqueurs : afficher la ville de Lyon, les mines de charbons et les tillites.

- Positionner le curseur (en haut) sur le Carbonifère inférieur (~ 350 Ma), puis noter

- la température globale de la Terre ;
- la position de Lyon (en déplaçant la souris sur un point, sa latitude s'affiche en haut à gauche) ;
- les latitudes où se forment les charbons et les tillites ;
- l'étendue des calottes polaires.

- Positionner le curseur sur le Carbonifère supérieur (~ 300 Ma) et réaliser les mêmes observations.

#### Ressources : indices

Les géologues utilisent des roches sédimentaires mais aussi des fossiles comme indices des climats du passé. Ils arrivent ainsi à reconstituer les zones climatiques à l'échelle du globe, ou **paléocéintures climatiques\***.



◀ A Les tillites sont des roches issues d'un dépôt glaciaire (climat froid).



◀ C Les charbons proviennent de l'enfouissement rapide de matière végétale en climat humide, tempéré à chaud.

◀ B Les bauxites\* et latérites\* résultent de l'altération poussée des roches sous un climat chaud et humide.



Bauxite: roche détritique riche en oxydes de fer  
Charbon: roche sédimentaire carbonée produite suite à l'enfouissement de matière végétale

Evaporite: roche sédimentaire formée par précipitation d'ions de différentes natures (gypse  $\text{CaSO}_4$ , halite  $\text{NaCl}$ )

Paléocéinture climatique: reconstitution d'une zone climatique (polaire, intertropicale, tempérée) à une période passée.

Tillite: roche sédimentaire formée par compaction de dépôts glaciaires souvent grossiers (moraines ou dépôts fluvio-glaciaires)



◀ D Les évaporites\* se forment par évaporation de l'eau de mer en climat chaud et aride.

## Ressources : causes

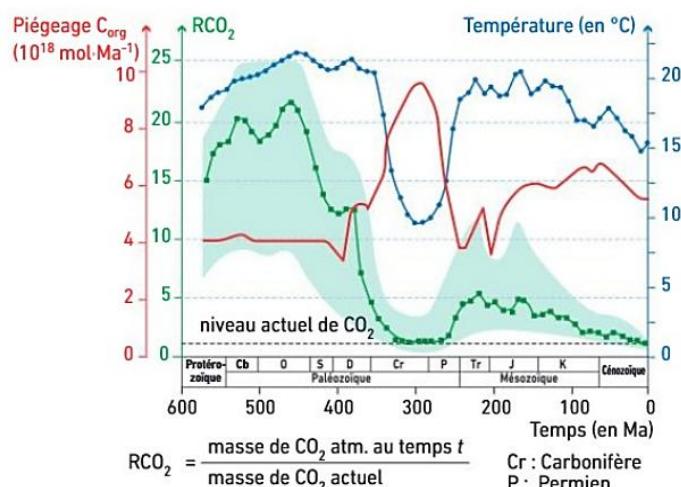
### • Document 2 : évolution du $RCO_2$

Le graphique ci-contre présente les résultats de plusieurs modèles construits par les paléoclimatologues.

En bleu : modèle de température basé sur l'étude des isotopes de l'oxygène des sédiments océaniques.

En vert : modèle de l'évolution de la teneur atmosphérique en  $CO_2$ , prenant en compte plusieurs données (fossiles, indices stomatiques\*, roches sédimentaires...). La plage vert clair correspond à la zone d'incertitude.

En rouge : modèle du piégeage du carbone issu de la matière organique dans les roches sédimentaires (charbon, pétrole, gaz naturel).



### • Document 3 : Particularités du Permien et du Carbonifère

La fin de l'ère primaire est marquée par la réunion des blocs continentaux en un seul continent, la Pangée.

Ce mécanisme a entraîné plusieurs conséquences :

- La formation de la ceinture orogénique\* hercynienne, située au niveau de l'équateur et subissant une importante altération.
- La présence d'une masse continentale importante aux latitudes élevées de l'hémisphère Sud (A), favorisant la formation d'une calotte glaciaire.

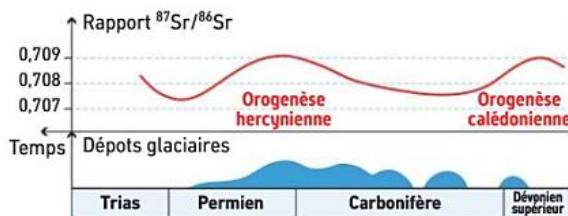
#### Fin Carbonifère

-300 Ma



A Reconstitution paléogéographique de la fin du Carbonifère.

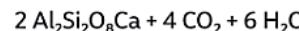
- Les sédiments détritiques issus de l'érosion de la chaîne hercynienne se sont déposés dans des bassins sédimentaires situés sur son pourtour. Cette importante sédimentation a favorisé le piégeage de la matière végétale qui a lentement évolué pour former le charbon.
- Les décomposeurs présents sur les continents à cette époque n'étaient pas capables de décomposer la lignine. Dénormes quantités de matières végétales ont ainsi échappé à la décomposition.
- Le rapport isotopique du strontium dans les sédiments carbonatés océaniques est utilisé par les géologues comme marqueur de l'altération des roches continentales. Un rapport élevé traduit une forte altération (B).



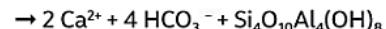
B Extension des dépôts glaciaires et rapport isotopique du strontium à la fin de l'ère primaire.

### C - Vidéo : mouvement des plaques depuis 500 millions d'années

### • Document 4

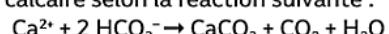


Plagioclase calcique



ions calcium ions bicarbonate kaolinite  
en solution en solution

Les ions transportés vers des zones de sédimentation précipitent pour former du calcaire selon la réaction suivante :



L'altération de deux plagioclases permet ainsi de piéger durablement 2  $\text{CO}_2$ .

Réaction d'altération d'un plagioclase calcique, minéral fréquent dans la croûte continentale

## II – Mésozoïque (251 - 66 Ma)

### Manipulation B

#### Logiciel PaléoTerre

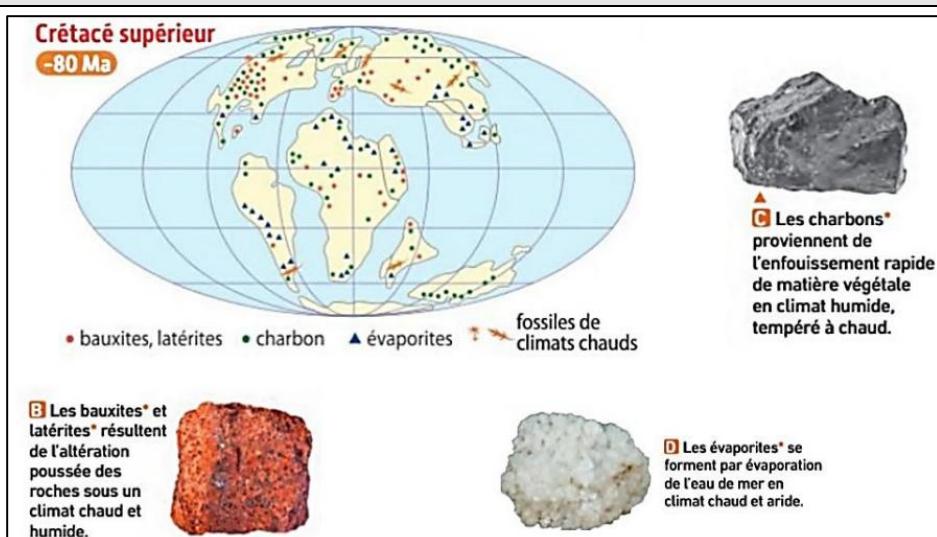
- Noter la latitude de Lyon au Crétacé inférieur (-145 Ma) ; comparer avec sa latitude actuelle.
- Comparer la situation des continents et les températures :
  - au Trias (- 245 Ma) ;
  - au Jurassique (- 200 Ma) ;
  - au Crétacé inférieur (- 145 Ma) ;
  - à la fin du Crétacé (- 70 Ma).

### Ressources – Indices

#### Document 5 – Les roches sédimentaires, indices du climat

#### Document 6 – L'indice stomatique

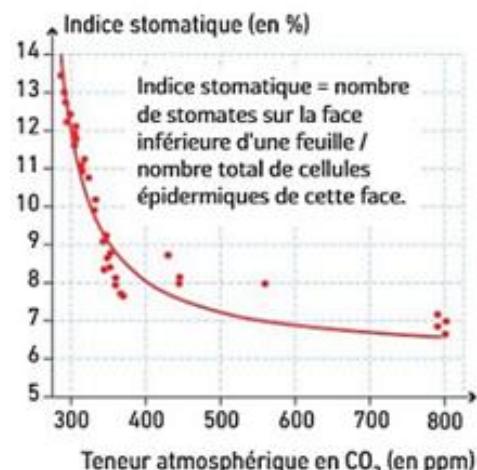
Les paléobotanistes utilisent comme indice de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> la quantité de stomates au niveau des feuilles fossiles. Expérimentalement, ils ont montré que leur nombre diminue lorsque la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> augmente.



### Manipulation C

#### Logiciel Mesurim2 (en ligne)

- Compter les stomates et les cellules épidermiques d'une feuille de *Ginkgo biloba* actuelle à partir de la photographie ci-dessous (copier/coller la photo dans Mesurim2).



**B** Le calcul de l'indice stomatique de plusieurs fossiles de feuilles de *Ginkgo biloba*, datant de la fin du Crétacé, a donné un résultat de 7,09 %.

- A l'aide du graphique, déterminer l'indice stomatique et en déduire la teneur en CO<sub>2</sub> correspondante.
- Comparer avec la teneur de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> au Crétacé.

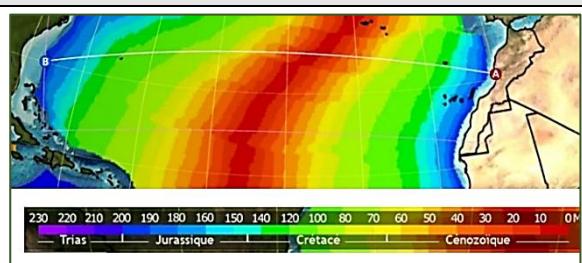
### Ressources - Causes

#### Manipulation D

#### Logiciel Tectoglob3D (en ligne)

Dans le menu situé au-dessus du globe, choisir :

- Actions, puis Mesurer une distance, Données affichées, Cartes géologiques, Ages du plancher océanique.
- Pour mesurer une distance, cliquer sur deux points entre lesquels vous souhaitez effectuer la mesure, dans l'océan Atlantique. Faire les mesures nécessaires afin de compléter le tableau suivant :



Période	Jurassique moyen et supérieur	Crétacé inférieur	Crétacé supérieur	Cénozoïque
Âge, arrondi à la dizaine (Ma)	180 à 140	140 à 100	100 à 60	60 à 0
Largeur des fonds océaniques formés durant la période				
Durée de la période (Ma)	40	40	40	60
Vitesse moyenne d'expansion (km·Ma <sup>-1</sup> )				

- Document 8 : CO<sub>2</sub> et activité des dorsales



On évalue la production annuelle de magma au niveau des dorsales actuelles à 20 km<sup>3</sup>. Ce magma contient des gaz, dont du CO<sub>2</sub>, qui sont libérés lors de la mise en place de ces roches (dégazage).

Les travaux récents permettent d'estimer la libération actuelle de CO<sub>2</sub> au niveau des dorsales entre 2·10<sup>10</sup> et 2·10<sup>11</sup> kg an<sup>-1</sup>. À titre de comparaison, les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique sont d'environ 36·10<sup>12</sup> kg an<sup>-1</sup>. Une partie de ce CO<sub>2</sub>, dissous dans l'eau, est transféré lentement vers l'atmosphère.

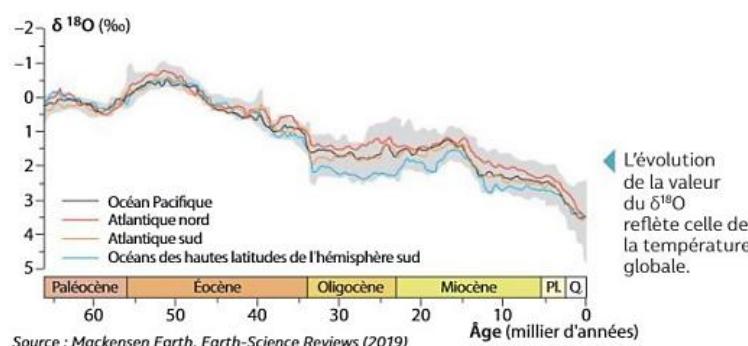
La formation de laves en coussin (*pillow lavas*) est typique du volcanisme de dorsale.

## II – Cénozoïque (de 66 Ma à aujourd’hui)

### Ressources : indices

#### Document 9 – Foraminifères fossiles et thermomètre isotopique

Les foraminifères sont des organismes marins très sensibles aux variations des conditions du milieu. Ils incorporent dans leurs tests calcaires (CaCO<sub>3</sub>) des éléments chimiques dont les concentrations isotopiques dépendent des concentrations présentes dans l'eau de mer, dépendant elles-mêmes de la température globale. Le  $\delta^{18}\text{O}$  des foraminifères donne donc une indication du  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau de mer dans laquelle ils ont vécu, et donc de la température générale. Plus il fait froid, plus le  $\delta^{18}\text{O}$  des tests de foraminifères augmente.

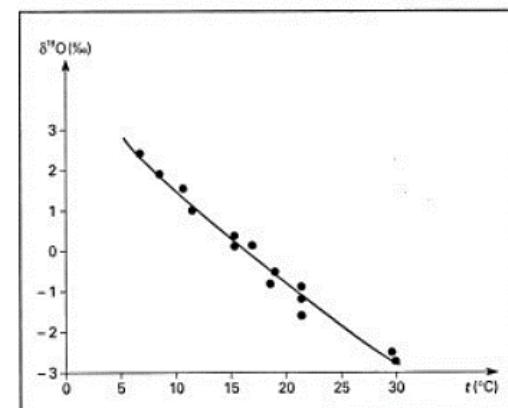


a) Évolution au cours du Cénozoïque du  $\delta^{18}\text{O}$  des foraminifères benthiques (= vivant sur le fond) récoltés dans différents océans



#### Thermomètre isotopique des carbonates

Les variations du rapport isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dans les tests calcaires de foraminifères fossiles extraits d'une carotte prélevée en milieu marin (exprimé en ‰ par le  $\delta^{18}\text{O}$ ) renseignent sur les paléotempératures océaniques de surface et sur le volume des glaces continentales dans le passé. En période glaciaire la proportion  $\delta^{18}\text{O}$  augmente dans les océans par rapport à  $\delta^{16}\text{O}$  car une grande quantité de glace pauvre en  $^{18}\text{O}$  est immobilisée dans les calottes glaciaires.



Isotopes : atomes possédant le même nombre d'électrons – et donc de protons, pour rester neutre –, mais un nombre différent de neutrons.

Qu'est-ce qu'un ISOTOPE ? | Physique-Chimie (lycée) – Lien vidéo

## Ressources : causes

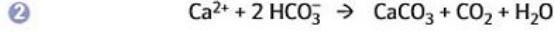
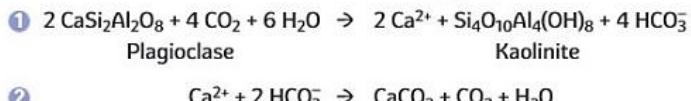
## Document 10 – Altération des roches continentales et CO<sub>2</sub>



### A Observation d'un granite altéré au microscope en lumière polarisée analysée.



### **B** Échantillon d'un granite altéré.



## Documents 11 et 12 :

## Les chaînes de montagnes du Cénozoïque

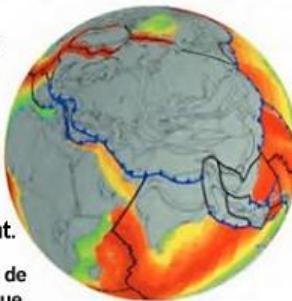


#### A Dépôts sédimentaires liés à l'érosion de l'Himalaya dans la vallée de l'Indus.

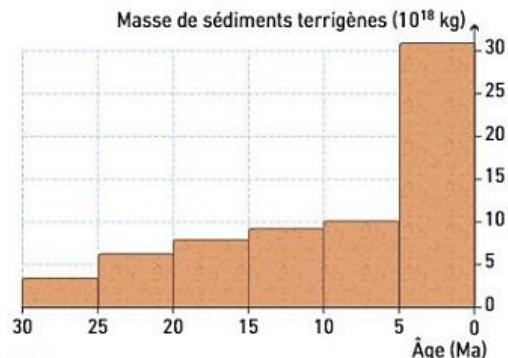
Le Cénozoïque est une période de réunion des blocs continentaux et de formation de chaînes de montagnes, dont les principales forment la ceinture orogénique alpine. Dès leur formation, les reliefs montagneux sont soumis à l'altération et à l'érosion\*. Ce phénomène est quantitativement très important. À titre d'exemple, on estime que pour l'Himalaya ces phénomènes ont démantelé un volume de roches de 2 millions de milliards de m<sup>3</sup> au cours des 20 derniers millions d'années.

Altération: désagrégation de la roche par des phénomènes chimiques et physiques.

**Erosion: Débâlement et transport des particules issues de l'altération par l'eau le plus souvent.**



## **B** Formation de chaînes de montagnes au Cénozoïque.

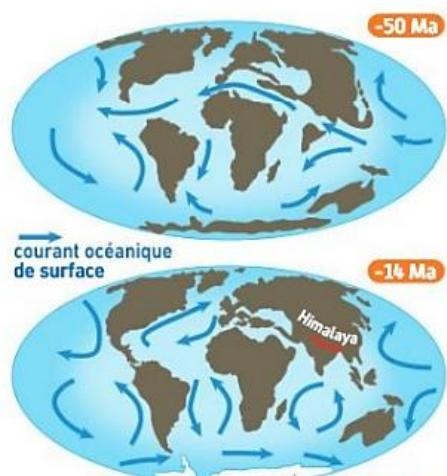


### C Masse de sédiments issus de l'érosion depuis 30 millions d'années.

Le déplacement des masses continentales au cours du Cénozoïque, sous l'effet de la **tectonique des plaques**\*, a entraîné une modification des courants océaniques de surface, fermant certains passages et en ouvrant d'autres.

Les climatologues font des liens entre **circulation océanique\*** et climat global :

- En réchauffant les eaux océaniques, un courant faisant le tour du globe dans la région intertropicale favorise un climat global chaud.
  - Au contraire, la présence d'un courant froid autour du continent Antarctique (courant circumpolaire), en isolant ce dernier des apports d'eaux chaudes, y favorise l'installation d'une calotte glaciaire propice au refroidissement global, notamment par augmentation de l'albédo.
  - L'existence de courants indépendants de direction globalement nord-sud (courants méridiens) accentue les différences de température en fonction de la latitude, ce qui est favorable à l'installation d'un refroidissement global.



## ■ Dynamique des masses continentales et courants marins.