

THEME2 B : Les climats passés de la Terre

Classe : Terminales SPECIALITE SVT

Durée conseillée : 2 semaines

Nombre de TP : 2

En rouge : les objectifs

En bleu : les activités pratiques

En vert : problématiques et objectifs



Chapitre 2 Le climat aux grandes échelles de temps (600 MA)

Les climats anciens présentent des différences importantes par rapport au climat du Quaternaire, en particulier une **régularité moins importante** et sur des cycles bien plus longs mais aussi une **amplitude bien plus importante**, aussi pour des climats très froids ou très chauds. Par exemple, le climat de **l'Ere Secondaire (Mésozoïque : Trias, Jurassique, Crétacé)** est particulièrement chaud et associé à un taux de CO₂ estimé à 1700 voire 2100 ppm soit 4 à 5 fois plus qu'aujourd'hui. Au contraire, le climat de **l'Ere Primaire (Paléozoïque)** a subi 2 glaciations majeures (Ordovicien et Carbonifère-Permien). Dans certains cas, le refroidissement est tel que la Terre s'englace totalement (« Terre Boule de Neige »), phénomène qui se serait produit il y a 635 Ma environ.

Problématique : Comment reconstituer les climats anciens et comprendre l'origine de ces changements ?

Plan :

- 1- Les indices climatiques anciens (fossiles, indice stomatique, taux de CO₂ passé ...)
- 2- L'histoire climatique depuis 600 millions d'années
- 3- Les causes des variations climatiques anciennes

Objectifs de cette partie:

- Connaître les principaux outils d'étude des climats anciens (sédiments, fossiles ...)
- Identifier les variations du taux de CO₂ passé (feuille de Ginkgo)
- Identifier les causes des climats anciens (GES, volcanisme, tectonique des plaques)
-

TP2 – La reconstitution des climats anciens

Objectifs :

- Connaître le climat du Mésozoïque ou du Paléozoïque
- Connaître les indices climatiques (indice stomatique, microfossile, traces glaciaires, position des continents ...)
- Comprendre les variations climatiques passées

I. Les indices climatiques anciens

1- Les indices sédimentaires

La reconstitution des climats anciens ne peut se faire sur la base des indices glaciaires (les glaces les plus anciennes n'ont pas plus de quelques millions d'années). Il est donc nécessaire de trouver des indices moins fragiles : ce sont généralement les roches sédimentaires.

Les indices de climats froids

- Les moraines et les tillites : les moraines sont des particules caractéristiques de l'érosion par un glacier. Ces particules peuvent être transformées en roche sédimentaire : il s'agit des tillites. Ces roches sont des indices de climat froid.
- Les stries glaciaires : elles indiquent la présence d'un glacier (étendue mais aussi direction de « l'écoulement » du glacier).
- Les blocs erratiques : ce sont des roches déplacées par les glaciers (Gros caillou de la Croix Rousse à Lyon) qui signe un climat froid.

Les indices de climats chauds

- Les évaporites : ce sont des roches qui se forment dans de faibles tranches d'eau et à forte température (Halite, Gypse).
- Les latérites comme la bauxite : ce sont des sédiments qui se forment en climat tropical humide par la remontée d'ions (Aluminium par ex) en surface.
- Les argiles (kaolinite) s'accumulent davantage en climat chaud.
- Le charbon atteste de la présence de nombreux végétaux et d'une très forte productivité primaire (photosynthèse) et donc d'un climat chaud.

2- Les indices paléontologiques

Ces indices doivent être recoupés par d'autres indices concordants. On peut notamment faire appel aux fossiles dont les exigences écologiques nous renseignent sur le climat local.

Fossiles associés aux climats froids :

- Mammouths
- Globigérines (Danien)
- Conifères

Fossiles associés aux climats chauds :

- Globotruncana (Maastrichtien)
- Reptiles
- Fougères
- Coraux

D'autre part, les fossiles de plantes permettent d'estimer le taux de CO₂ passé. En effet, la densité de stomate est régulée au sein du végétal pour permettre une photosynthèse optimale (ni trop ni trop peu de CO₂). On peut déterminer l'indice stomatique (IS) comme le rapport entre le nombre de stomates (2 cellules stomatiques) et le nombre total de cellules (épidermiques + stomates). L'indice stomatique actuel est de l'ordre de 7%, en lien avec un taux de CO₂ de l'ordre de 410 ppm.

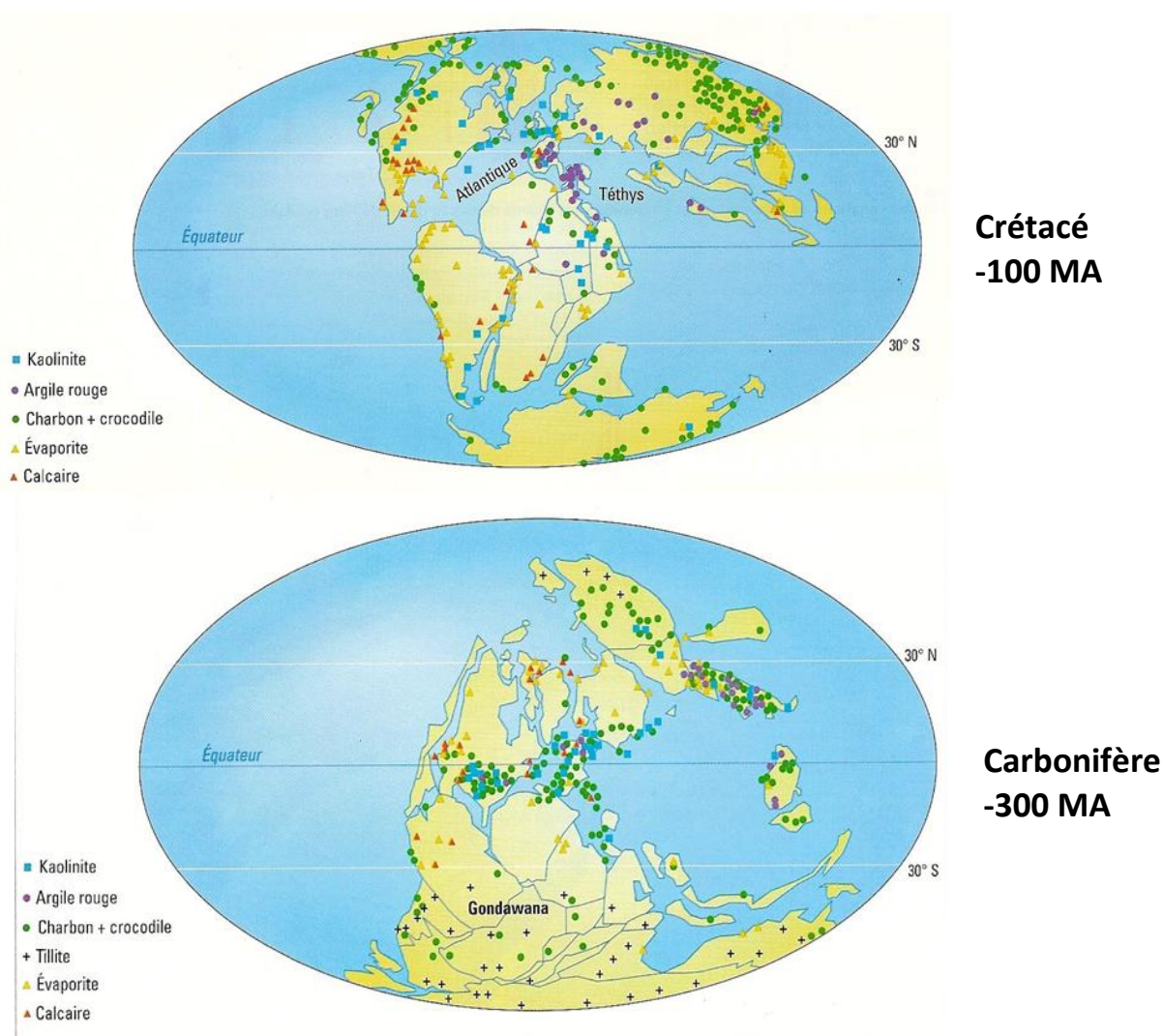
3- Les indices tectoniques

Enfin, on peut estimer si le climat est chaud ou froid par la reconstitution de la place des continents à l'époque. En effet, la tectonique des plaques déplace les masses continentales.

- La présence des continents aux Pôles est associée à un climat froid.
- Le regroupement des continents modifie la circulation océanique et impose un climat continental sur de vastes zones (étés chauds et hivers froids).

Type d'indices	Climat froid	Climat chaud
Sédiments	- Moraines (sédiments glaciaires) - Tillites (roches morainiques) - Bloc erratiques (blocs mobilisés par les glaciers) - Roches striées (stries glaciaires)	- Evaporites (halite, sel gemme) - Bauxite (sédiment riche en aluminium) - Kaolinite (argile) - Charbon <i>Remarque :</i> Le charbon est un indice de climat chaud mais sa formation refroidit le climat (fossilisation du CO₂).
Fossiles	- Globigérines (Danien) - Mammouths - Conifères (sapin, mélèze) - Nombreux stomates sur les feuilles (peu de CO₂)	- Globotruncana (Maastrichtien) - Reptiles, Crocodiles, Tortue - Fougères / Coraux - Peu de stomates sur les feuilles (CO₂ fort)
Position des continents	- Présence de continents aux Pôles (englacement et favorisation de l'albédo) - Continents dispersés (plus de climat méditerranéen et variations climatiques atténuées)	- Peu de continents présents aux Pôles - Pangée (climat continental dont les variations sont importantes) <i>Remarque :</i> La Pangée est associée à des climats « chauds » (tranchés) mais sa formation implique la formation d'une chaîne de montagnes, ce qui induit un refroidissement climatique.

Document 1 : Tableau des indices climatiques anciens



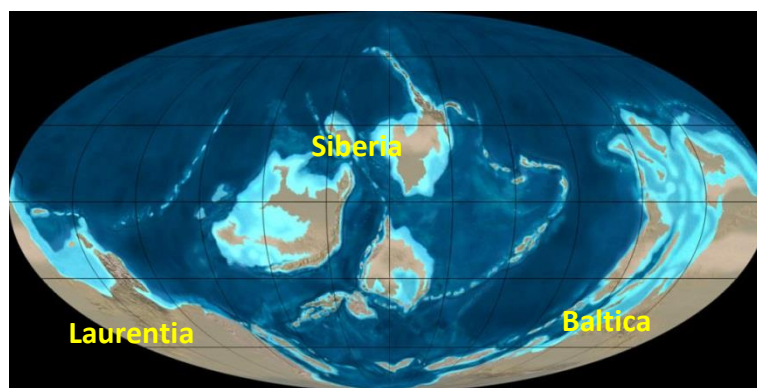
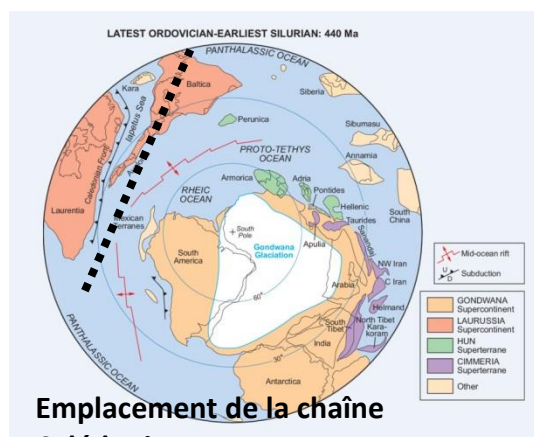
II. L'histoire climatique de la Terre depuis 600 Ma

1. Le Paléozoïque (-540 à -250 Ma), une période froide et contrastée

L'ère Primaire (Paléozoïque) comprend 6 étages principaux (Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien) et présente 2 glaciations majeures : la glaciation ordovicienne (env. -450 Ma) puis la glaciation carbonifère-permienne (env. 300 Ma).

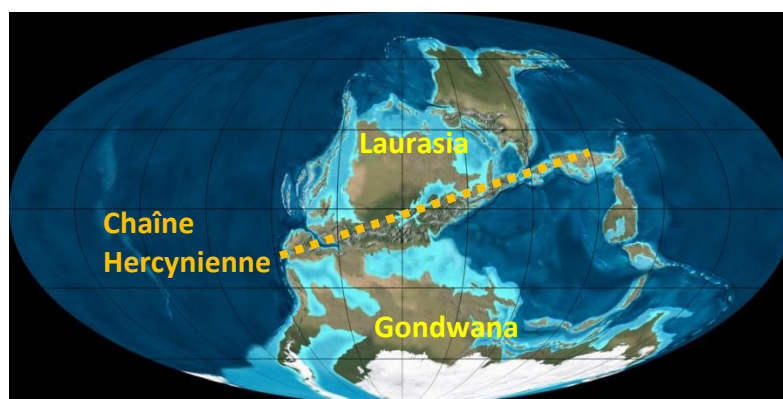
Ces périodes de refroidissement sont associées à :

- la présence massive de tillites montrant un glacier qui s'étendait jusqu'à 30°S !
- la présence de charbon (cf Carbonifère) restreinte à la zone équatoriale mais formée massivement pendant le Carbonifère (fixation du CO₂ et diminution de l'effet de serre).
- la présence de reptiles (crocodiles) restreinte à l'Equateur
- La présence d'évaporites et kaolinite restreinte à l'Equateur
- la présence d'un super continent (Pangée) qui s'est formée vers 490 Ma avec une accumulation importante de surfaces continentales au Pôle Sud.



La chaîne Calédonienne (environ 500 Ma) est liée à la collision entre la Laurentia et la Baltica qui a eu lieu durant le Cambrien et l'Ordovicien.

Sur la carte ci-dessus (Ordovicien tardif), la chaîne a déjà été démantelée par l'ouverture de l'Océan Rhéique et de l'Océan Iapetus.



Document 3 : Cartes du Paléozoïque et tectonique formation d'orogènes

CONCLUSION : L'Ere Primaire comprend 2 glaciations majeures qui sont liées à

- la position des continents au Pôle Sud
- la formation de chaînes de montagnes par la collision des plaques (orogénèse calédonienne et formation de la Pangée → Ordovicien ; Orognèse hercynienne → Carbonifère).
- la fixation massive de CO₂ lors de la formation du charbon (Glaciation Carbonifère-Permien).

2. Le Mésozoïque (-250 à -65 Ma), une période chaude

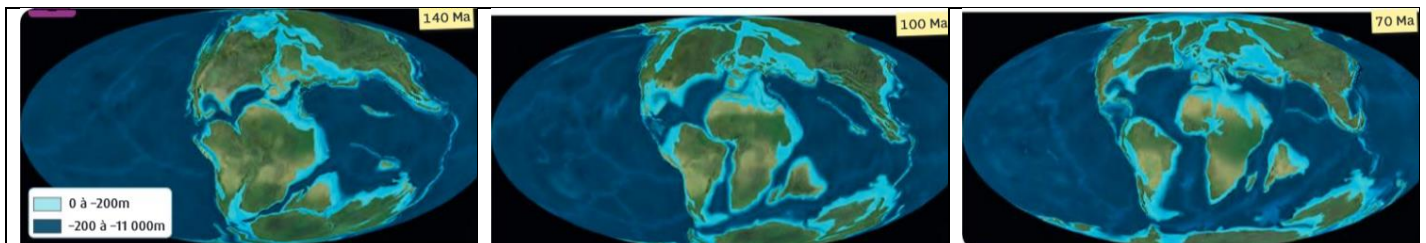
L'ère Secondaire (Mésozoïque) comprend 3 étages : le Trias, le Jurassique et le Crétacé et se termine par la Crise Crétacé-Tertiaire (Crise KT) qui est une des 5 crises biologiques majeures qui a contribué à l'extinction de plus de 60% des espèces.

Les indices climatiques de cette période montrent que le climat était globalement chaud (voire très chaud) avec notamment :

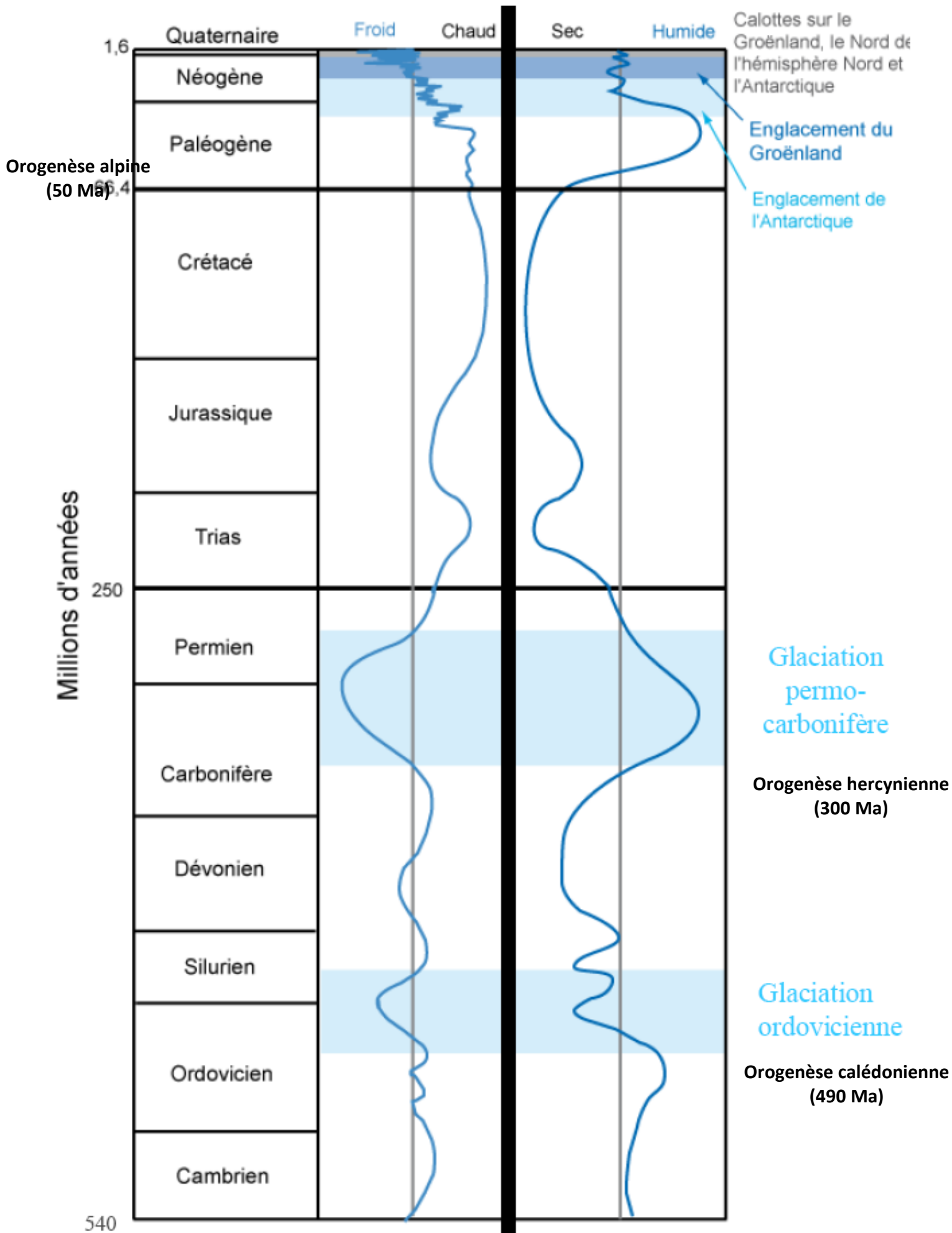
- l'absence de tillites ce qui implique une absence de glaces aux 2 Pôles
- une importante sédimentation carbonée (charbon), qui indique un développement très important de végétaux (forte productivité primaire)
- une importante sédimentation calcaire entre 30°N et 30°S attestant d'un climat chaud. Les calcaires massifs du Crétacé sont retrouvés dans tous les bassins sédimentaires (Bassin Parisien, Aquitain ...) mais aussi déformés dans les chaînes de montagnes (Alpes, Pyrénées).
- une importante présence d'évaporites entre 30°N et 30°S attestant d'un climat chaud
- La présence de fossiles de reptiles (Dinosaures, Crocodiles, Tortues) y compris aux pôles ce qui suggère des températures très clémentes même aux Pôles.
- la présence de nombreux coraux qui formaient des récifs en mers chaudes
- Du Trias au Crétacé, la Pangée formée au Carbonifère (290-300 Ma) se sépare et cela implique une forte activité au niveau des dorsales qui sont des volcans qui rejettent du CO₂. Ainsi, le taux de CO₂ augmente, ce qui accentue l'effet de serre et augmente les températures. Le Crétacé est donc l'une des périodes les plus chaudes de l'ère secondaire.
- Le niveau de la mer de l'époque est également bien plus haut : de l'ordre de 100 à 200 mètres. Ceci s'explique par l'activité très forte des dorsales : lorsqu'elles sont très actives, elles ont une forme bombée (dorsale rapide vs. Dorsale lente 1SPE). Les climatologues estiment que la Terre aurait alors été très bleue. Ceci implique une diminution de l'albédo et donc une augmentation de la puissance solaire captée par la surface ce qui induit un réchauffement.

CONCLUSION : Le Mésozoïque est une ère globalement chaude qui a permis le développement de nombreuses espèces de climat équatorial à tropical (Fougères arborescentes, Dinosaures, Coraux ...).

Remarque : A la fin du Crétacé, le refroidissement amorcé par l'éclatement de la Pangée et l'englacement des Pôles a été amplifié très brutalement par la chute d'une météorite qui a obscurci l'atmosphère (poussières). Le refroidissement a ensuite été amplifié par l'extension des glaces (albédo).



Document 4 : Cartes paléogéographiques du Crétacé (doc 6 p323 BELIN)



Document 5 : Histoire climatique depuis 600 Ma

III. Les causes des variations des climats anciens

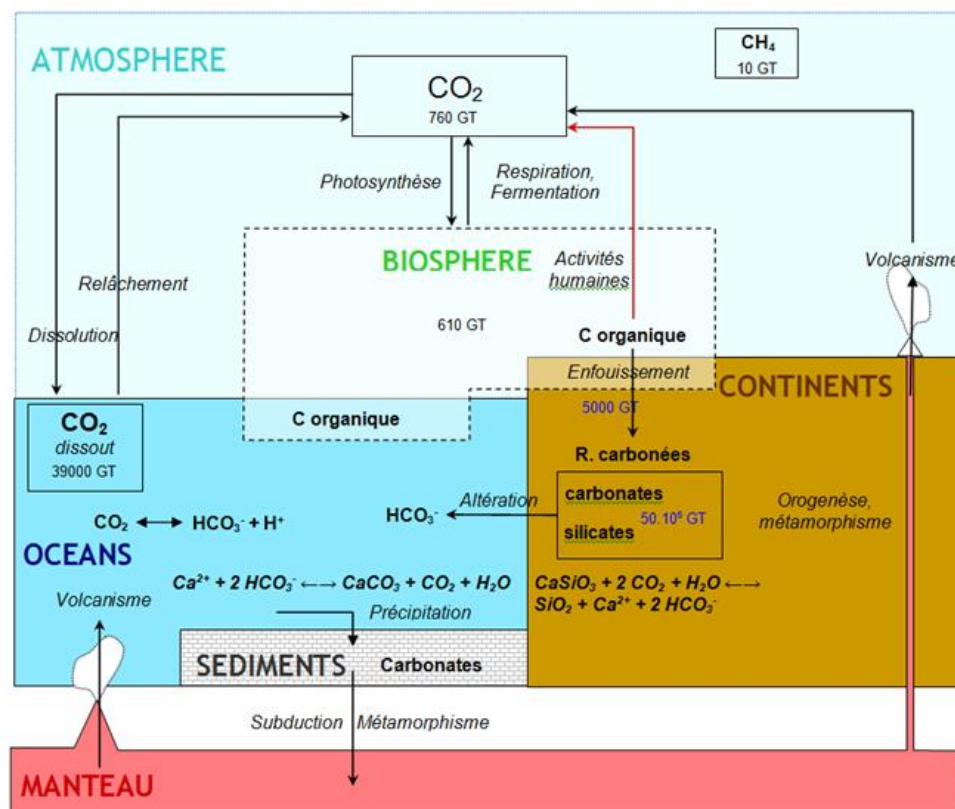
1- Les processus liés à l'effet de serre et au CO₂

Les climats anciens ne sont pas dépendants de l'orbite terrestre dont les variations sont trop minimes et trop courtes. De plus, le taux de CO₂ atmosphérique varie en fonction des flux entre les différents réservoirs : c'est le cycle biogéochimique du carbone. Néanmoins, les variations rapides (photosynthèse/respiration et dissolution/relargage) ne sont pas assez longues pour impacter les climats à cette échelle de temps (considérées comme équilibrées sur de longues périodes de temps).

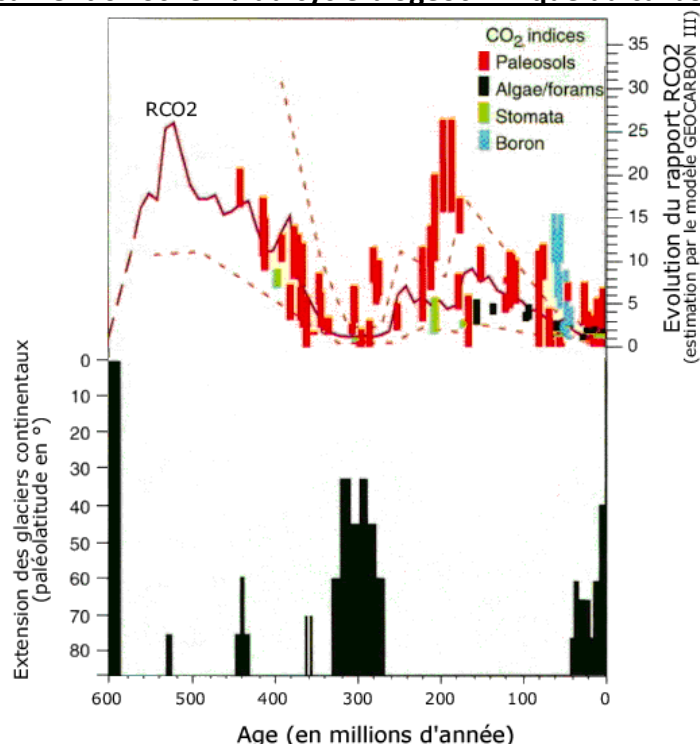
Des flux de CO₂ plus puissants et plus lents impactent les climats anciens :

- La formation de charbon stocke du CO₂ atmosphérique grâce à la photosynthèse et l'enfouissement (charbons du Carbonifère) ↗ **Charbon** → **CLIMAT FROID**
- La formation des chaînes de montagnes implique une forte érosion. Or l'altération (érosion chimique) des silicates présents dans les roches continentales consomme du CO₂. A la fin de chaque orogénèse, il y a donc un refroidissement important. ↗ **Erosion** → **CLIMAT FROID** ↘
- - le volcanisme (dorsales et points chauds) provoque une production importante de CO₂ provenant du manteau. Le Crétacé est caractérisé par l'éclatement de la Pangée et la forte activité des dorsales. ↗ **Volcanisme** → **CLIMAT CHAUD**
- - la précipitation des carbonates dans les océans libère du CO₂ grâce à la réaction $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Ainsi ↗ **Carbonates (calcaires)** → **CLIMAT CHAUD**.

ATTENTION : La formation de charbon implique un refroidissement du climat. Pourtant, c'est bien un indice de climat chaud. La formation de charbon se fait donc dans une période (ou une zone) chaude mais implique la fixation du CO₂ à long terme et donc un refroidissement global (ex : Carbonifère : chaud et se termine par une glaciation).



Document 6 : Schéma du cycle biogéochimique du carbone



Document 7 : Graphique du taux de CO₂ estimé (RCO_2) et de l'extension des glaciers

2- Les processus liés à l'albédo

L'albédo correspond au pourcentage d'énergie renvoyée par une surface par rapport à l'énergie incidente. C'est une cause des variations climatiques anciennes et comme pour les climats récents, c'est un paramètre amplificateur. En effet, l'augmentation de l'albédo (formation de glace) implique le renvoi de l'énergie solaire vers l'espace et donc une moindre énergie captée par la surface du globe (océan et continents). Il en résulte un refroidissement. Ainsi, un refroidissement (glace) induit un refroidissement : c'est une amplification climatique.

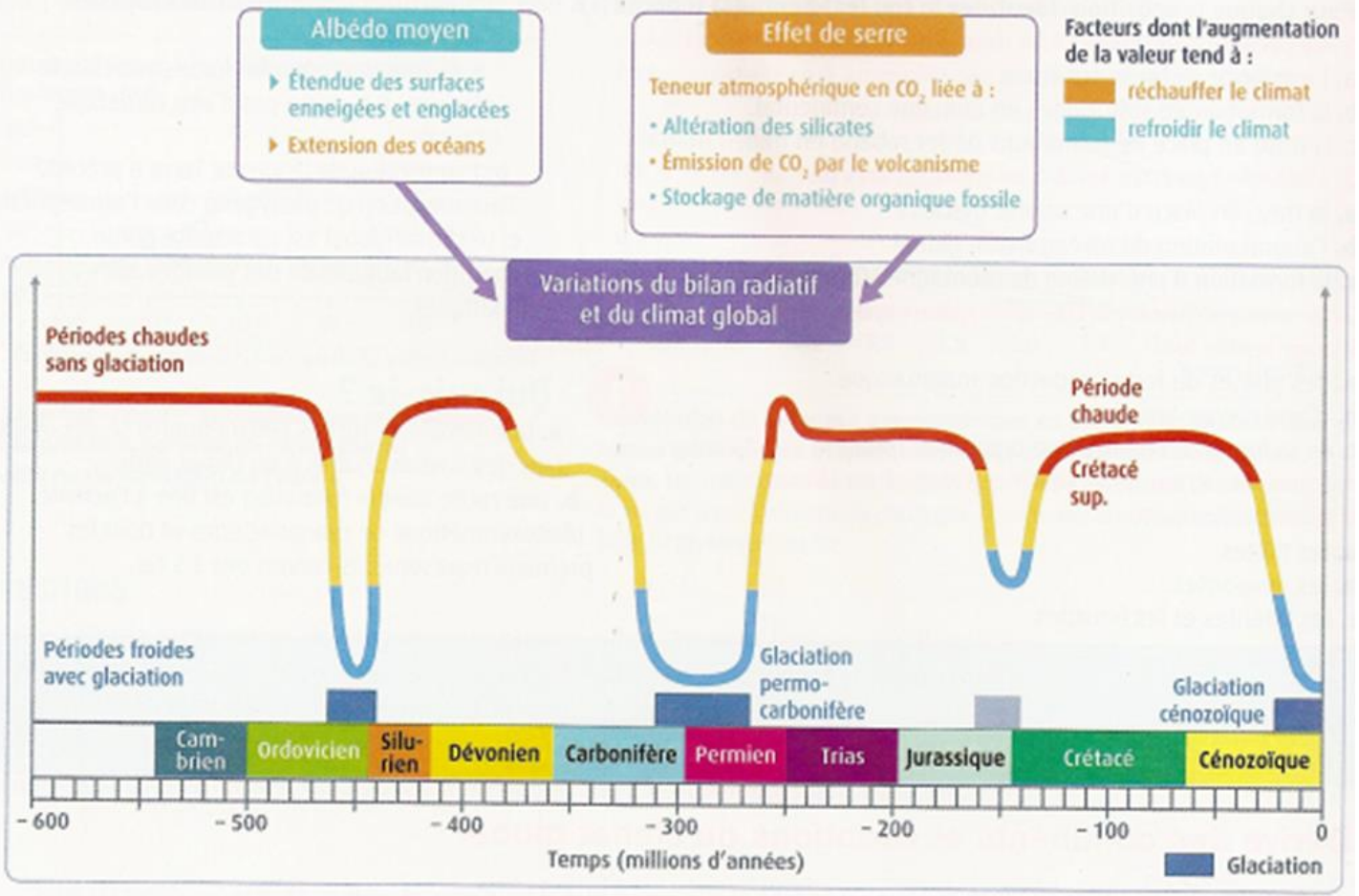
3- La tectonique des plaques

La tectonique des plaques est également un processus qui cause des variations climatiques anciennes.

- La présence de continents aux Pôles contribue à l'englacement ce qui a tendance à refroidir le climat. De plus, cela augmente l'albédo global (phénomène amplificateur : ↗ Albédo → FROID).
- L'éclatement de la Pangée se fait par l'augmentation de l'activité des dorsales qui produit du CO₂ (↗ effet de serre → CHAUD) et élève le niveau de la mer, ce qui remplace des surfaces claires (continentales) par des surfaces plus sombres (océan soit ↘ Albédo → CHAUD).

Conclusion : Ainsi, les climats anciens sont modulés par des phénomènes lents mais puissants et immuables tels que la tectonique des plaques. Les variations climatiques suivent donc des alternances de refroidissement (continents aux Pôles) et de réchauffement (éclatement de la Pangée). Ces variations sont associées au Cycle de Wilson (cf chapitre 2).

Le contrôle du climat global à l'échelle des temps géologiques



Document 8 : Histoire climatique simplifiée et causes des variations climatiques

Exercices possibles :

- [Exercice 2 - Carbonifère V1](#)
- [Exercice 2 - Carbonifère V2](#)
- [Exercice 2 - Cryogénien](#)

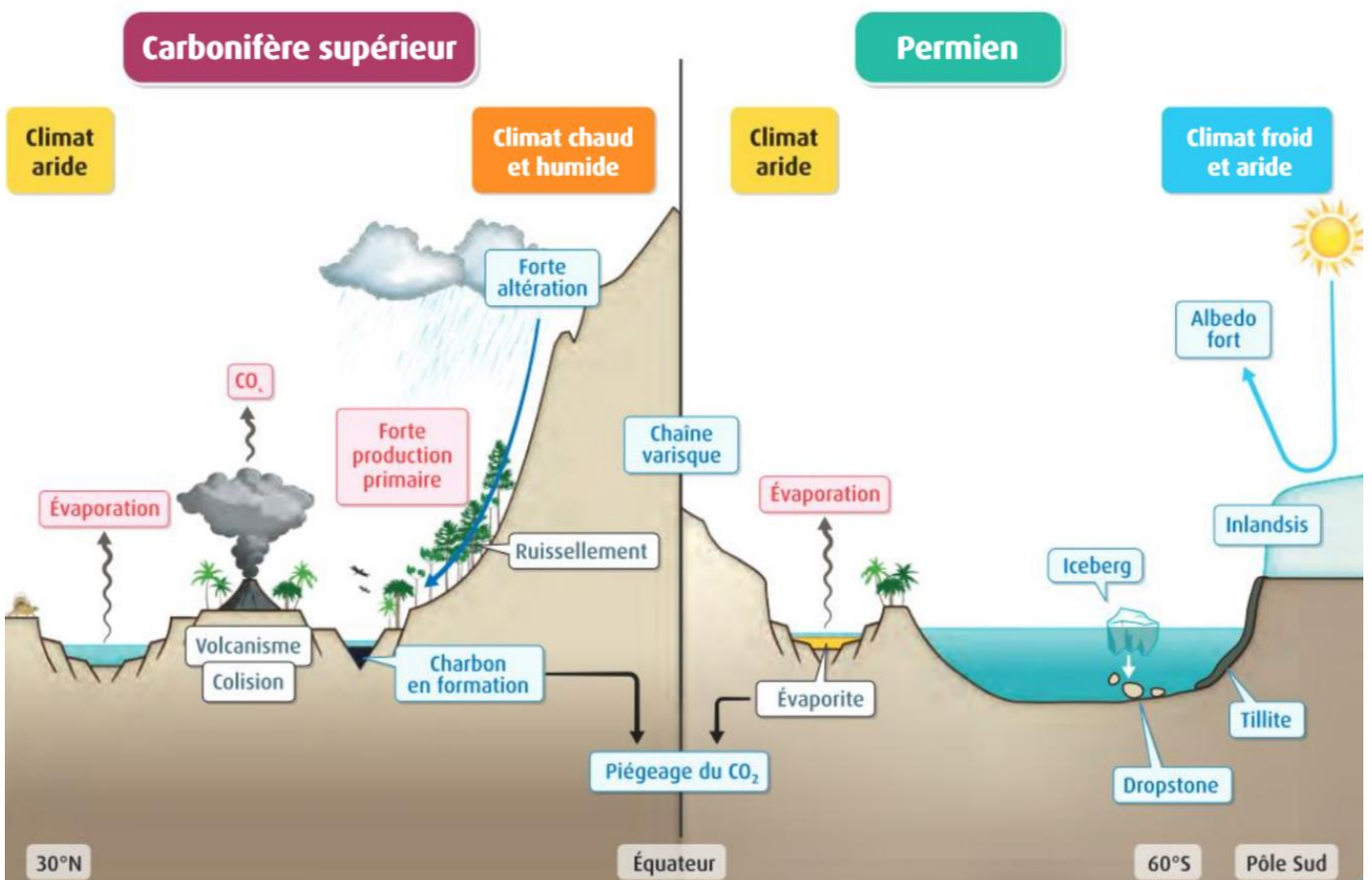
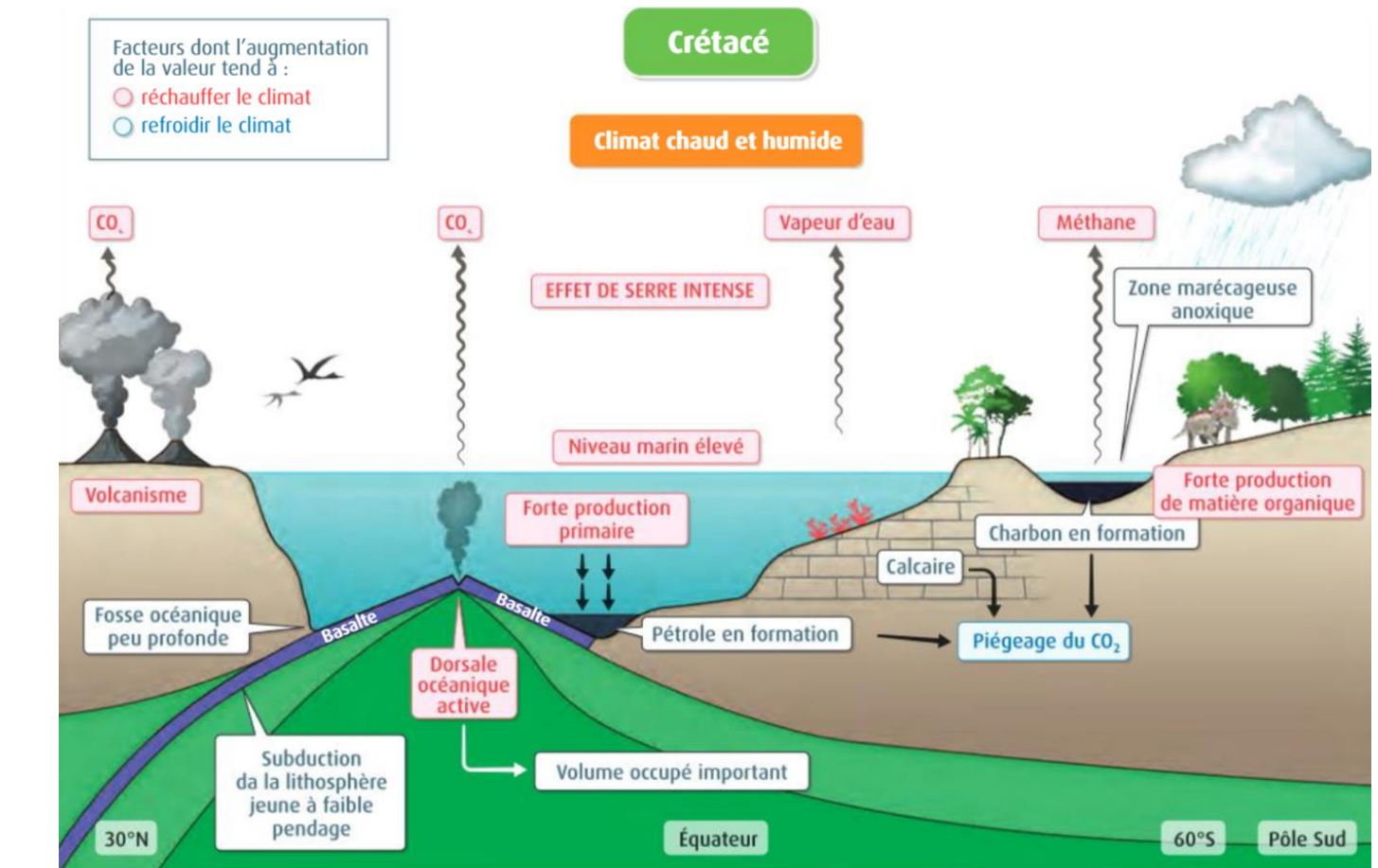
Vidéo « Les temps géologiques » :

- <https://www.youtube.com/watch?v=RxmbG1lrZM8>



Ressources intéressantes :

- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/vari%C3%A9ations-climatiques-bases.xml>
- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/extinction-limite-kt.xml>
- <https://actugeologique.fr/2019/03/lordovicien/>
- <https://actugeologique.fr/2019/03/le-carbonifere/>



Document 9 : Schéma bilan « Climat Anciens » (Source : BELIN p335)