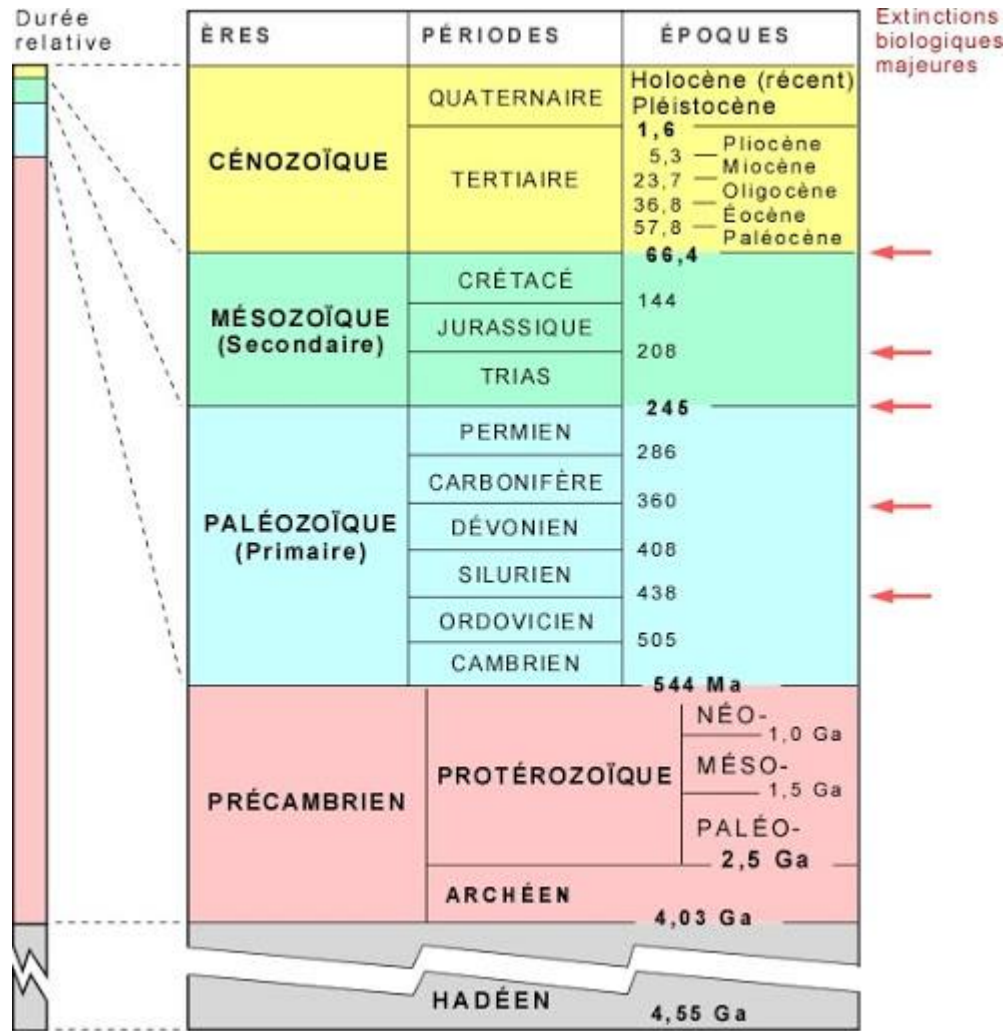


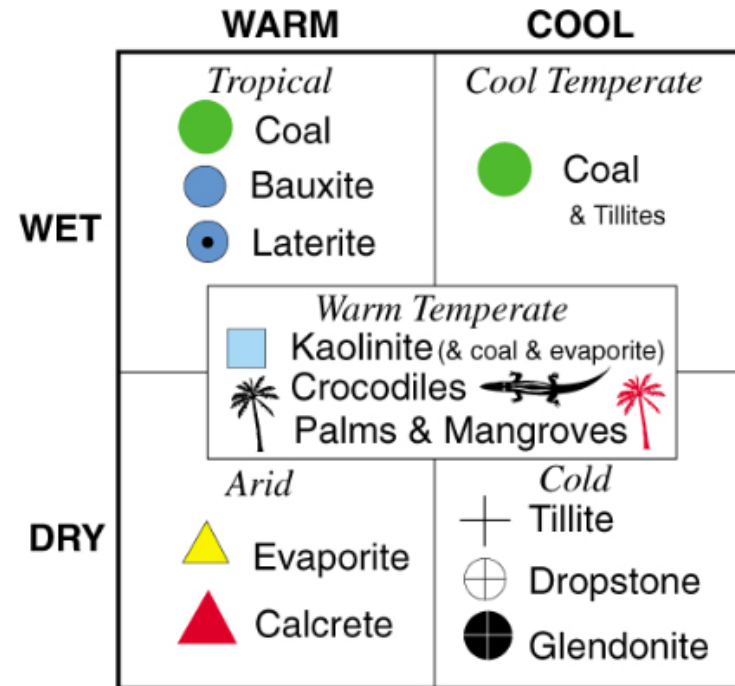
Les variations climatique passées



En 1726, James Hutton formule le principe d'actualisme: « les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé ».

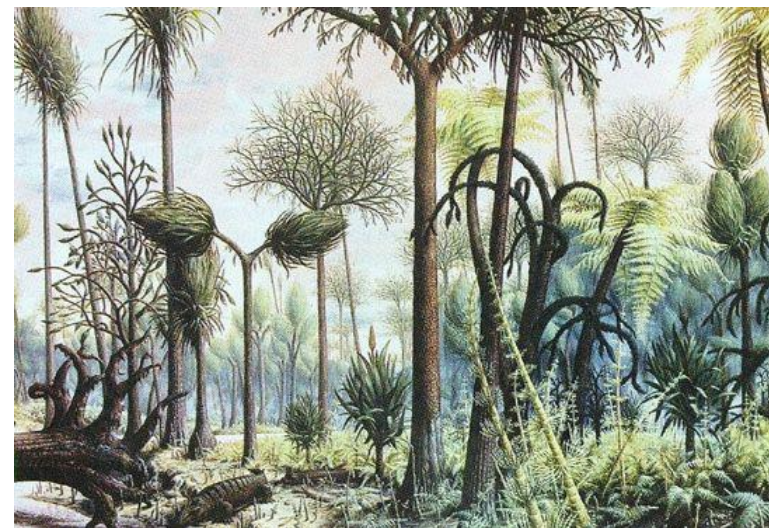
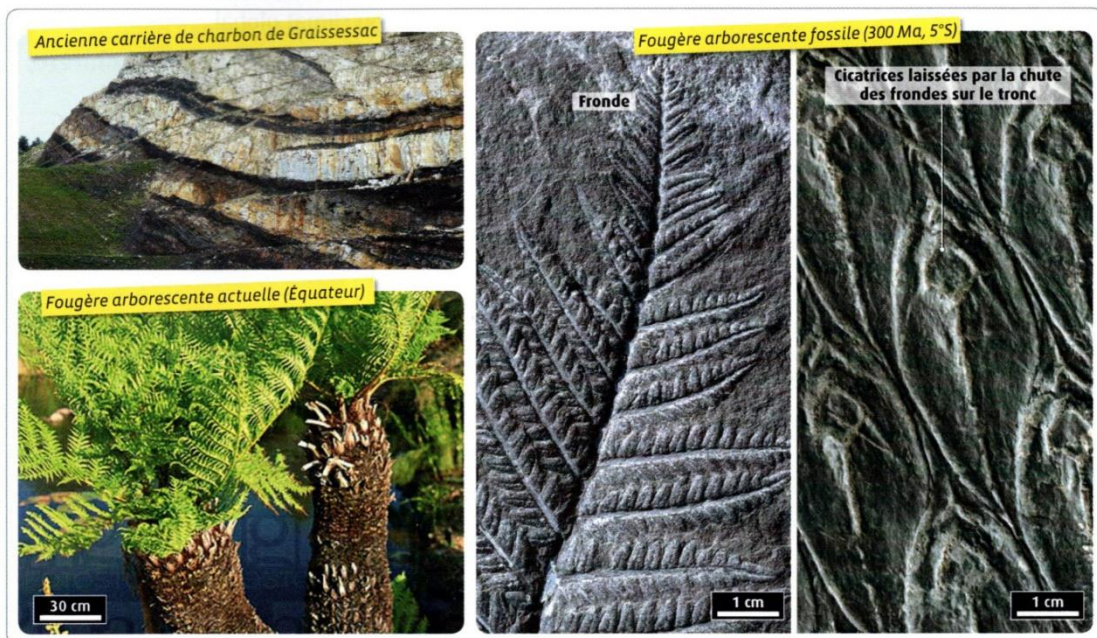
On a donc étudié les conséquences actuelles des climats sur la formation des roches et de leur contenu et on cherche dans les roches anciennes des indicateurs climatiques passés: nature de la roche, fossiles, figure sédimentaire...

Une fois ces données collectées et datées, on peut les replacer dans leur contexte latitudinal grâce à la tectonique des plaques et ainsi reconstituer le paléogéographie et le climat à une époque donnée.



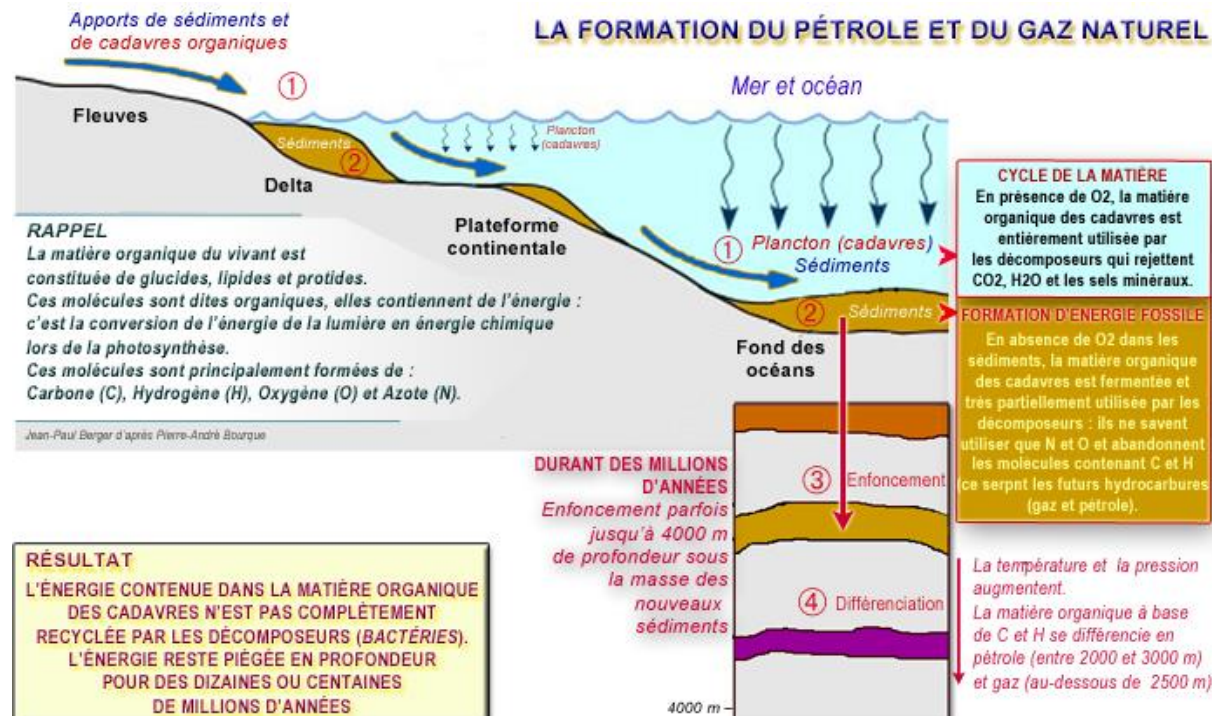
Charbons et pétrole

Le Carbonifère est une période pendant laquelle se sont formés les principaux gisements de roches fossiles (charbon et pétrole) exploités de nos jours. Ils se sont formés à partir de la décomposition anaérobie des forêts primitives et des sédiments riches en matières organiques.



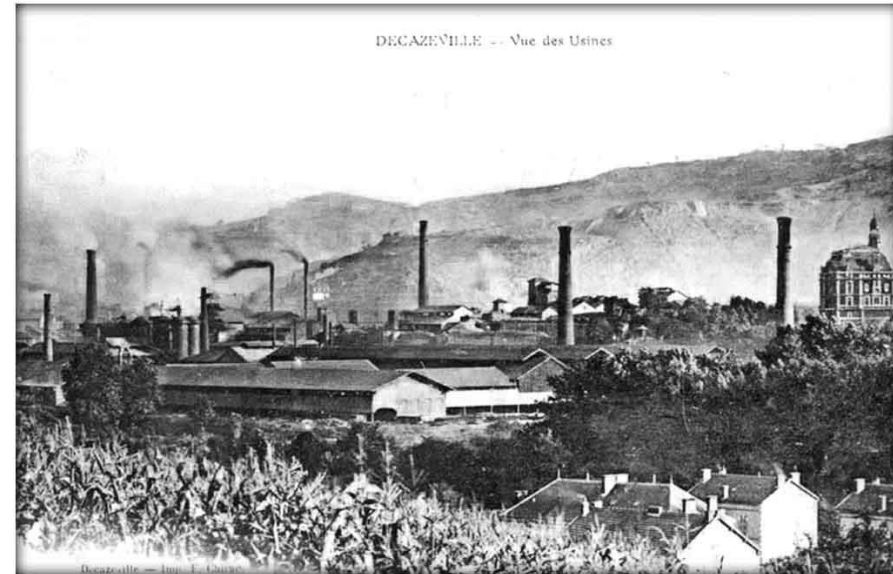
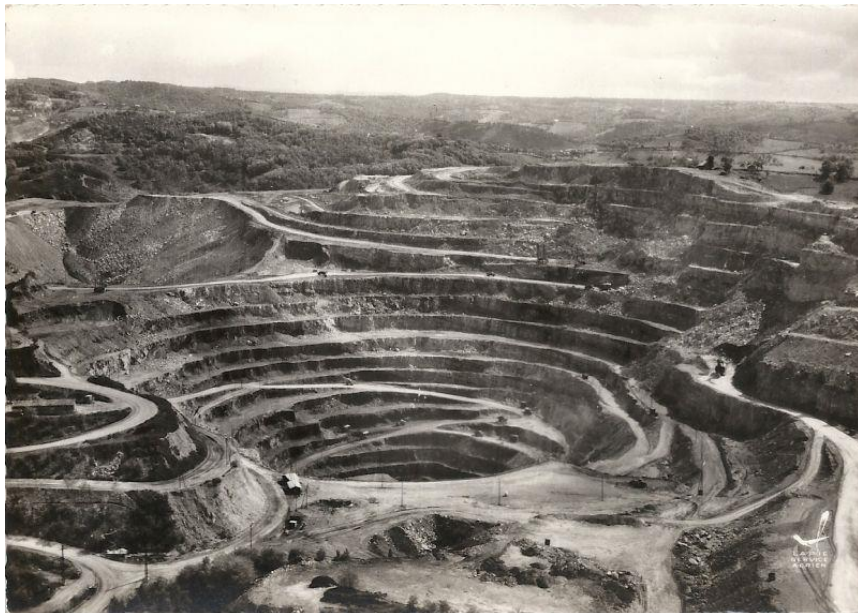
Reconstitution d'un paysage du Carbonifère

5 Des dépôts de charbon de 300 Ma à Graissessac (sud du Massif central). Le charbon se forme par accumulation et transformation de végétaux dans de petits bassins sédimentaires continentaux ou littoraux, sous des climats tempérés à tropicaux. Les fossiles observables dans le charbon permettent de préciser l'environnement climatique local, grâce à une comparaison avec les espèces végétales actuelles. La plupart des gisements de charbons de France sont datés du **Permo-Carbonifère** (-320 à -280 Ma). À cette époque, la France métropolitaine se situait à une paléolatitudes de 5°S environ.



Les mines de charbon à ciel ouvert de Decazeville (France)

Le charbon a été exploité à Decazeville dans une immense mine d'abord à ciel ouvert de 1892 à 2001 puis en mine de fond (jusqu'à 460 m de fond). 7000 mineurs y travaillaient en 1910.



Tillites et blocs erratiques

Autopsie d'un glacier

Un jeu d'équilibre entre accumulation et ablation

La zone d'accumulation

Dans sa partie supérieure, le bassin d'accumulation est un cirque glaciaire. Dans les Alpes, au-dessus de 2 700 m en exposition nord et 2 900 m au sud, la neige ne fond pas complètement. Compactée par le poids des nouvelles couches, elle se transforme en glace.

La ligne d'équilibre glaciaire

Cette ligne est la limite entre la zone d'accumulation et la zone d'ablation. Ses variations d'altitude reflètent les fluctuations du climat.

La zone d'ablation

En-dessous de la ligne d'équilibre, la fonte dépasse l'accumulation : le glacier perd du volume au fur et à mesure qu'il descend. Les températures sont plus chaudes et les précipitations estivales tombent essentiellement sous forme de pluie.

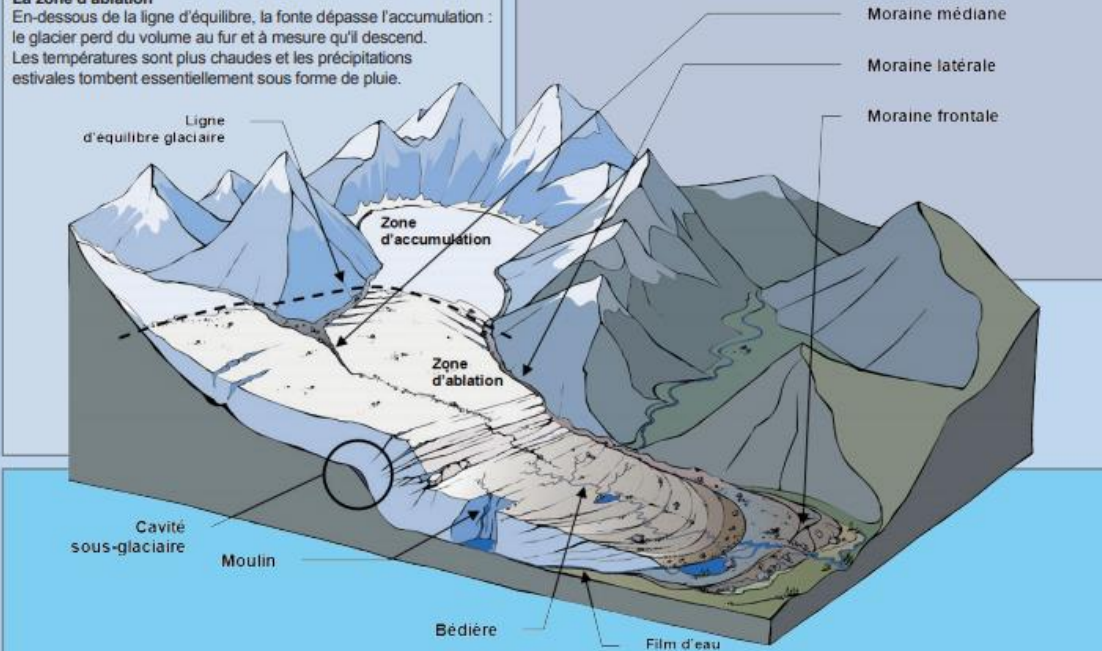
Le glacier : transports en tous genres

Comme un tapis roulant, le glacier transporte à sa surface les énormes blocs rocheux tombés des versants. Les débris enfouis sous la neige ou piégés par les crevasses cheminent à l'intérieur du glacier et resurgissent plus en aval en surface grâce à la fonte.

L'étude des dépôts morainiques fixe les limites atteintes par les glaciers.

Les glaciologues reconnaissent plusieurs types de moraines :

- les **moraines latérales** se déposent des deux côtés de la langue du glacier dans le sens de l'écoulement de la glace ;
- les **moraines médianes** se forment lorsque deux moraines latérales fusionnent ;
- les **moraines frontales** s'édifient devant le front du glacier. Lorsque la masse de glace avance, elle pousse devant elle les débris, tel un chasse-neige.



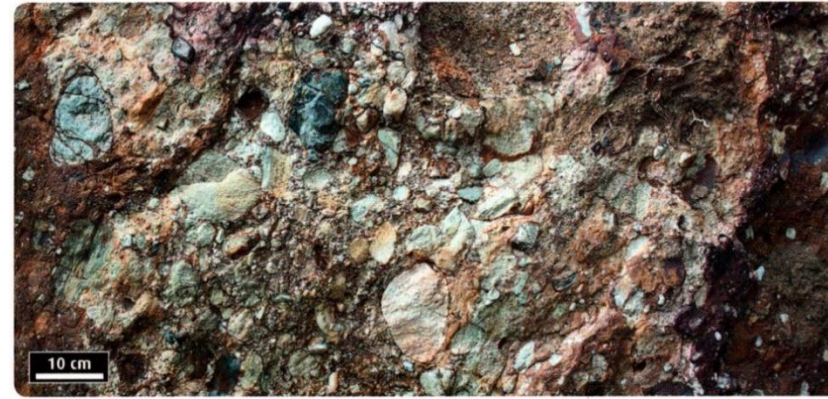
Une **tillite** est une roche sédimentaire formée par compaction d'un dépôt fluvioglacière ancien (sédiments continentaux contenant des matériaux entraînés par des glaciers) ou d'un dépôt morainique c'est-à-dire l'accumulation de débris de roches qui sont entraînés puis abandonnés par les glaciers.

Stries glaciaires

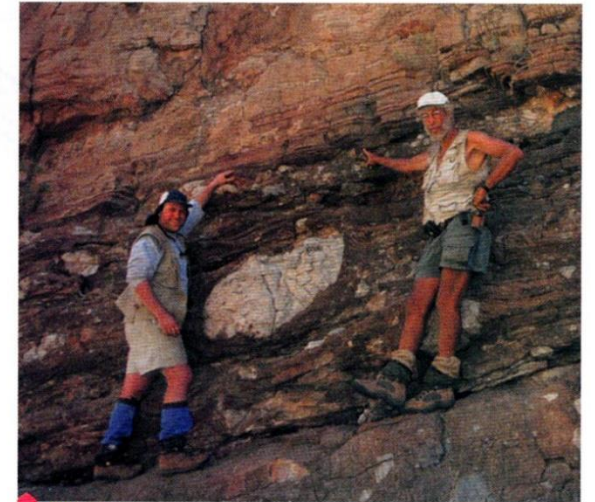


b «Ice rafted debris» inclus dans un sédiment marin (Protérozoïque, Namibie).

Les blocs inclus dans les sédiments ont été transportés par des icebergs puis ont chuté dans le fond de l'océan lorsque les icebergs ont fondu.



6 Des sédiments glaciaires de -280 Ma (État de Victoria, Australie). Les glaciers produisent des sédiments constitués d'éléments de tailles variées (des fines poussières aux blocs rocheux) : les tills. Les tills peuvent être consolidés avec le temps, et donnent alors des roches sédimentaires : les tillites. Ces roches se forment donc sous un climat polaire ou tempéré froid. Au Permo-Carbonifère, le site se trouvait à une latitude de l'ordre de 40°S.

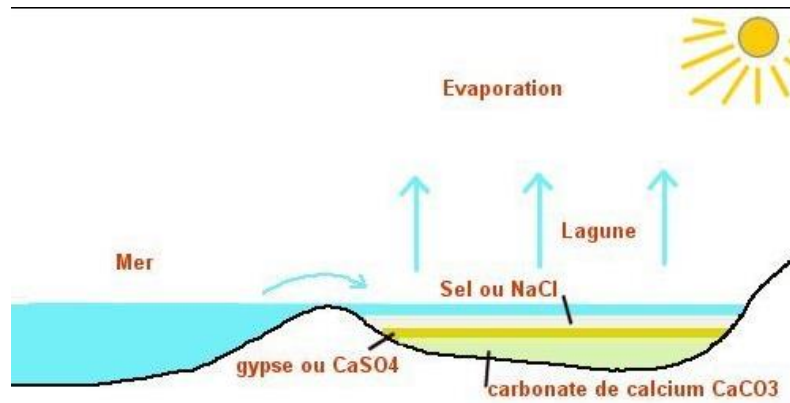


c Tillites surmontées d'un niveau calcaire (600 Ma, Namibie). Les deux géologues posent une main sur la limite entre le niveau carbonaté et la tillite.



Blocs erratiques

Evaporites



formation en couches des évaporites

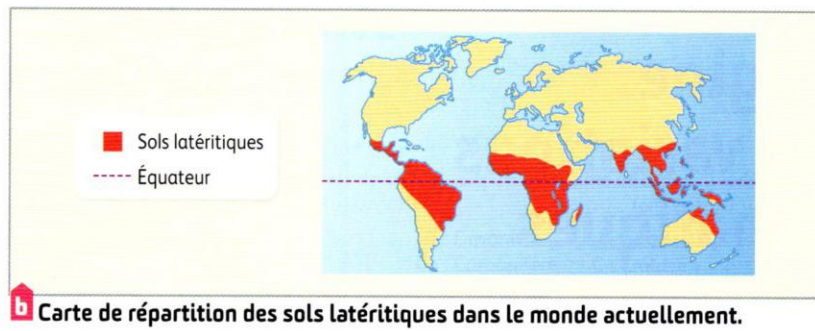


L'eau de mer contient du calcium, du sodium, du potassium, des ions négatifs tels le chlore, CO_3 et SO_4 . L'évaporation ne se débarrasse que de l'eau, ce qui fait qu'au fur et à mesure de l'évaporation, les sels se concentrent de plus en plus. La précipitation des minéraux évaporitiques se fait, dans les grandes lagunes ou des zones littorales de faibles profondeurs dans des régions où l'évaporation excède les précipitations. Le carbonate de calcium, CaCO_3 (calcite ou calcaire) précipite naturellement en premier et dépose une couche de cristaux de CaCO_3 au fond du bassin ou de la lagune. Avec la poursuite de l'évaporation, et par conséquent l'augmentation de la salinité,; Le CaSO_4 hydraté ou gypse précipite. Puis, avec encore une augmentation de la salinité, vient la phase de précipitation du chlorure de sodium, NaCl (le sel commun). La dernière phase avant l'évaporation totale est le chlorure de potassium, KCl (communément appelée potasse); On obtient des minéraux précipités à mesure de l'évaporation de l'eau de mer, les évaporites.

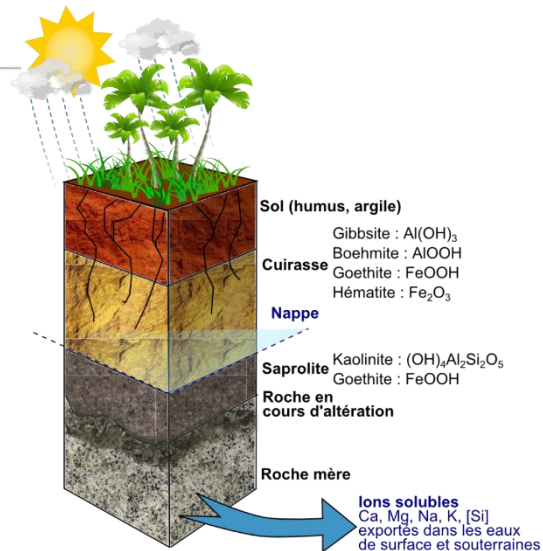
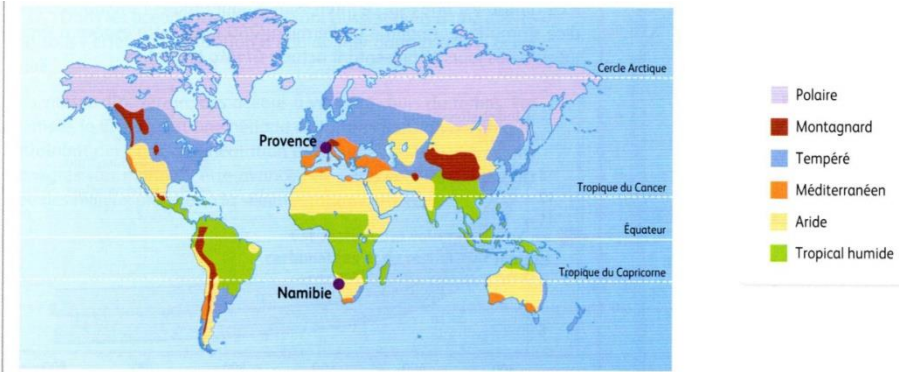
Elément chimique	Symbole	Teneur en g/l	Roche produite
Chlore	Cl	19.5	sel
Sodium	Na	11	sel
Sulfate	SO_4	2.7	gypse
Magnésium	Mg	1.3	aragonite
Calcium	Ca	0.45	gypse et calcite
Potassium	K	0.4	potasse



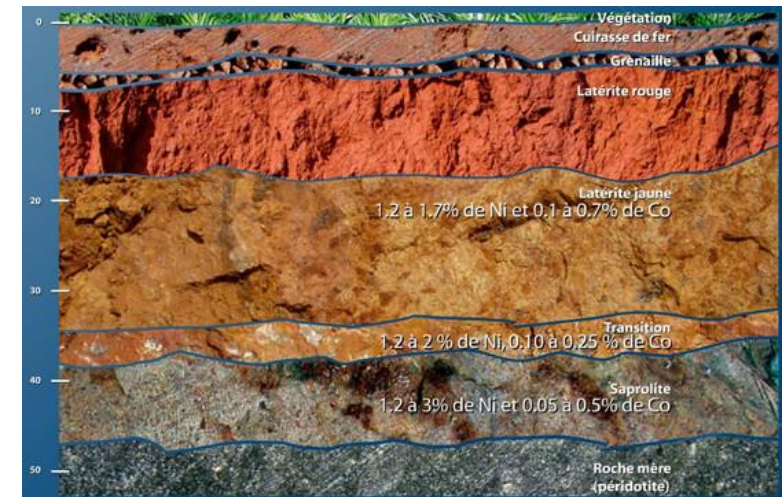
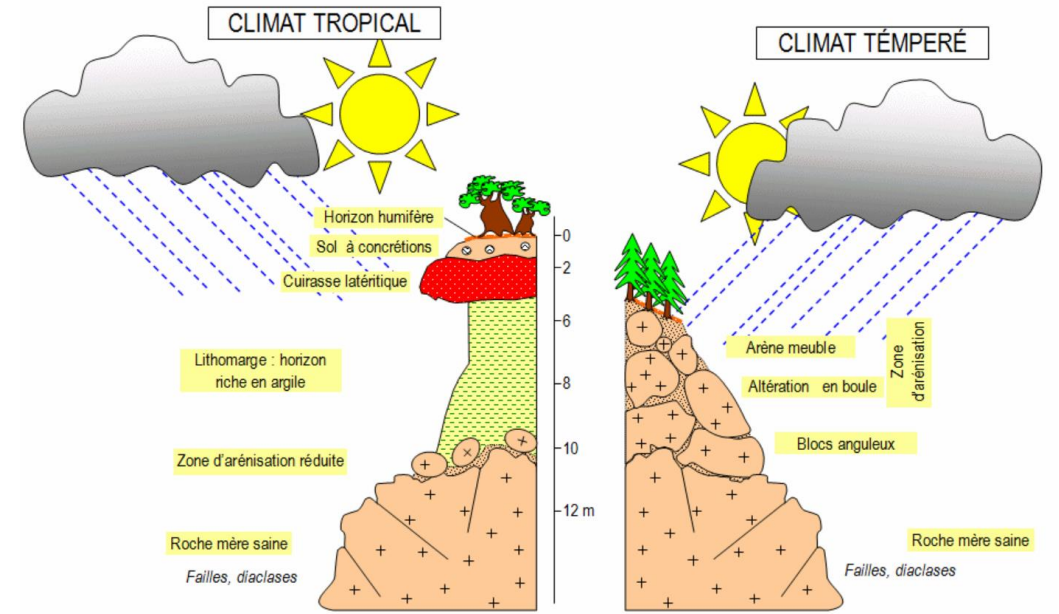
Les roches silicatées s'altèrent par hydrolyse : en présence d'eau, les éléments chimiques constitutifs des minéraux de ces roches sont lessivés (silice, Ca, Mg, K, Na) tandis que d'autres comme le fer et l'aluminium, moins solubles, ont tendance à rester sur place. Ils participent à la formation d'argiles ou précipitent sous forme d'hydroxydes. Les sols rouges qui en résultent sont des **latérites**.



Les latérites se forment sous l'effet d'un climat tropical humide (température supérieure à 20° C et précipitations supérieures à 1500 mm/an)



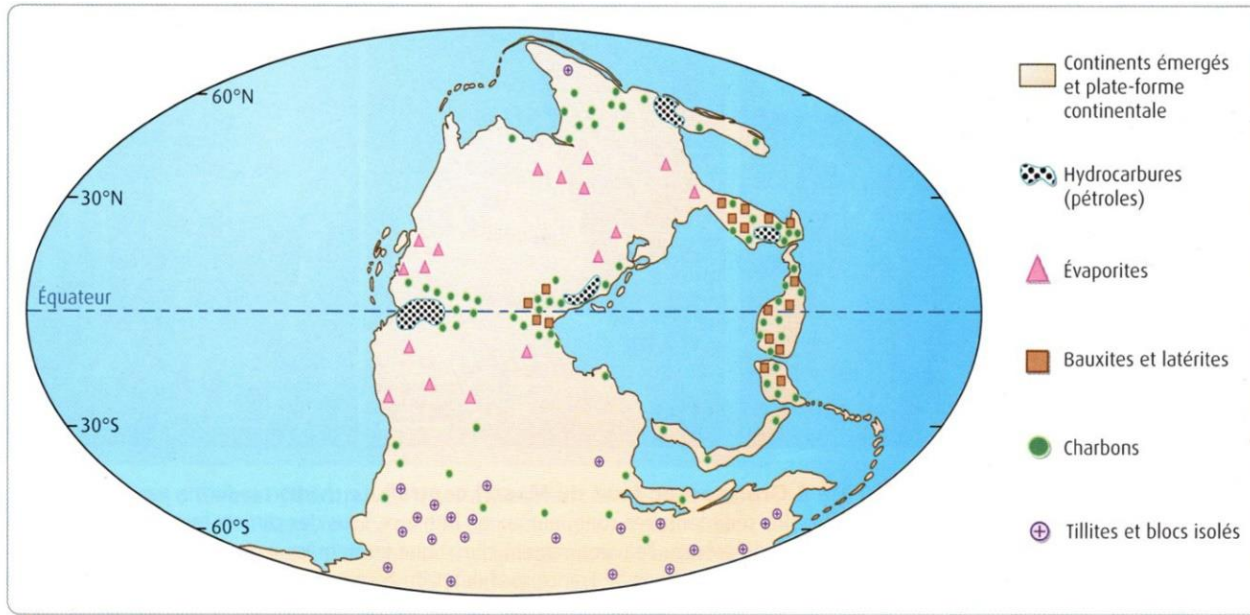
Latérites



Bilan: quelques roches indicateurs climatiques

Roches sédimentaires	Bauxite et latérite	Évaporite	Pétrole	Charbon	Tillite et blocs isolés
					
Processus de formation	Altération continentale par hydrolyse des roches siliceuses	Précipitation des ions d'une solution salée sursaturée	Accumulation puis transformation du phytoplancton	Accumulation puis transformation des végétaux continentaux ou littoraux	Accumulation et compaction de produits de l'érosion glaciaire des continents
Contexte favorable	Climat chaud et humide	Évaporation intense d'un bassin salé	Marge continentale anoxique à forte productivité primaire	Bassin continental subsident à forte productivité primaire	Présence d'une calotte glaciaire ou d'un glacier
Aires climatiques					
polaire			X		X
tempéré froid				X	
tempéré			X	X	
aride		X	X		
tropical	X		X	X	

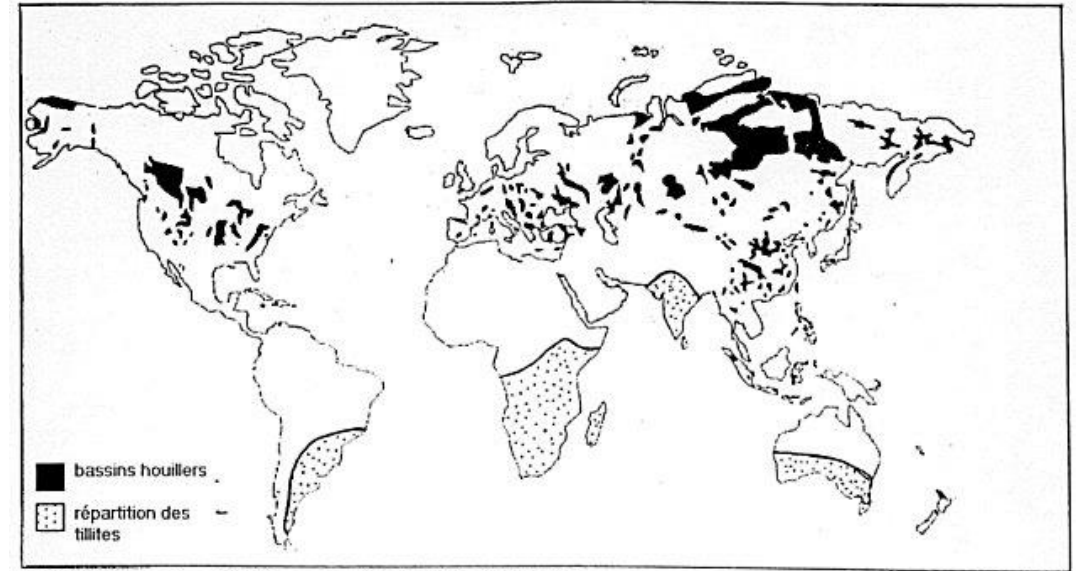
Paléozoïque: le climat global au Carbonifère-Permien



1 Carte de la répartition mondiale de quelques roches sédimentaires au Permo-Carbonifère (-320 à -280 Ma). La température moyenne globale au Permo-Carbonifère est estimée entre +11°C et +16°C.

- Q1: sur un calque de cette carte, établir la zonation climatique de la Terre au Carbonifère supérieur.
- Q2: situez la France et expliquez la présence des mines de charbon à Decazeville.
- Q3: expliquez la répartition actuelle des tillites et des bassins houillers
- Q4: quel était le type de climat global au Carbonifère ?

Document 2a : indicateurs géologiques du Carbonifère.



Tillites : moraines (sédiments périglaciaires) fossiles.

Bassins houillers: le charbon est une roche formée à partir de l'accumulation de matière organique végétale issue de forêts denses.

d'après "ressources énergétiques et substances utiles à l'homme" Nathan



Interview de Laurent Bopp, chercheur en climatologie au Laboratoire des Sciences de l'Environnement et du Climat

L'expression « climat global » désigne le climat envisagé à l'échelle de la planète. Les roches sédimentaires ont permis d'identifier des variations du climat global sur de longues périodes de temps. Le climat a tendance à osciller entre deux types de climats globaux extrêmes, que sont :

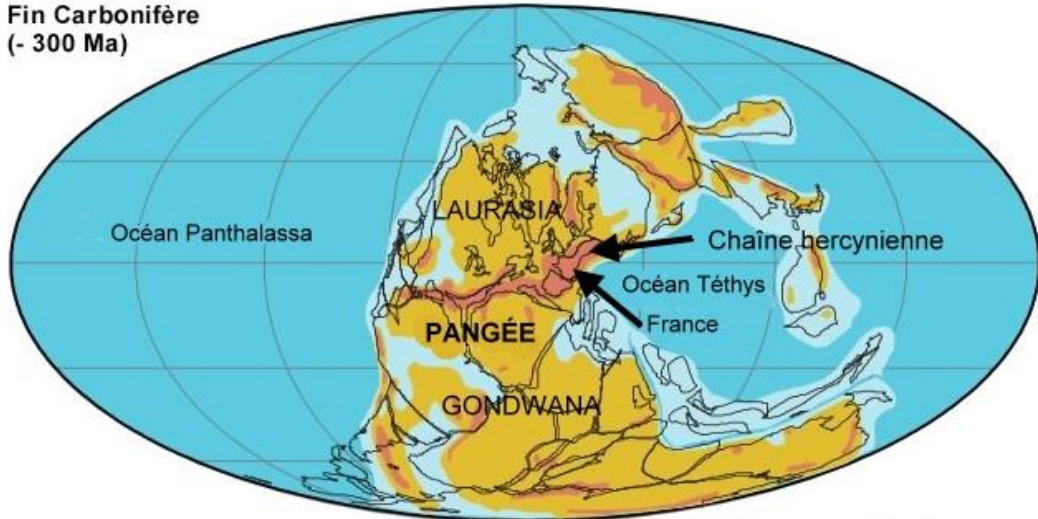
- « la période froide avec glaciation », durant laquelle l'extension des aires climatiques froides est importante (en particulier avec des zones de climat polaire aux hautes latitudes) ;
- « la période chaude sans glaciation », durant laquelle les aires climatiques chaudes sont étendues (en particulier, il n'y a pas de climat polaire).

4 Deux grands types de climats globaux.

Les causes probables du climat au Carbonifère: la paléogéographie

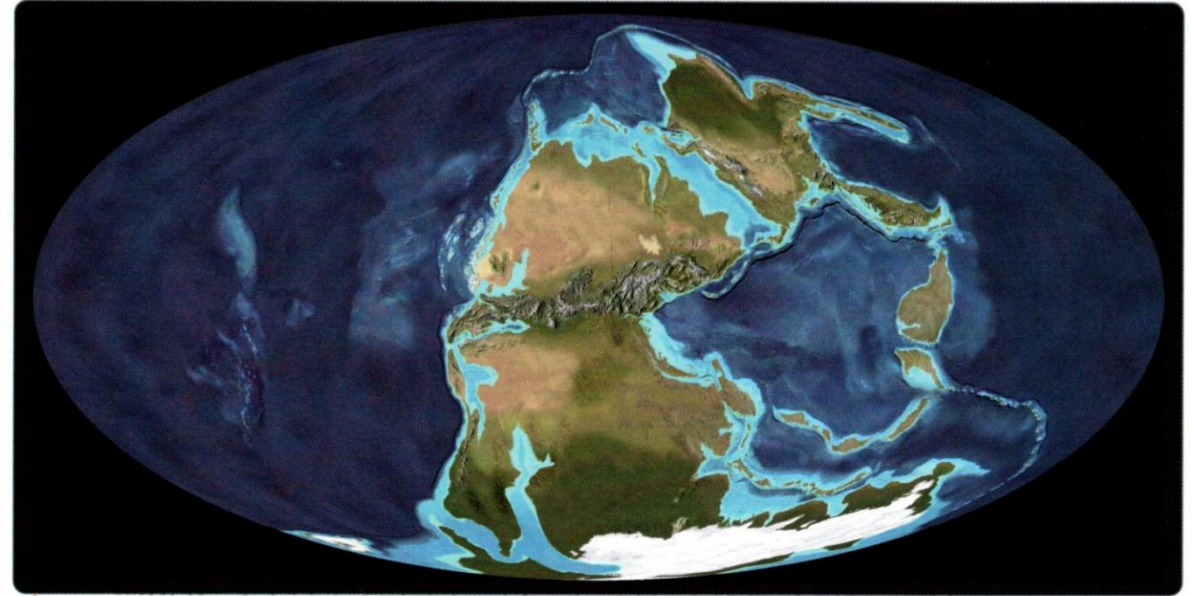
Le Carbonifère est une période d'orogénèse active: la Pangée est en cours de formation. Les continents de l'hémisphère sud restent liés dans Gondwana, tandis que ce supercontinent entre en collision avec la Laurasia le long de ce qui est actuellement la côte est de l'Amérique du Nord et crée la chaîne hercynienne (actuellement en Europe, Appalaches en Amérique du Nord. La plaque eurasienne se soude à l'Europe de l'Ouest au niveau de l'Oural. La plus grande partie de la Pangée est alors assemblée à l'exception de la Chine du nord et de l'Asie du Sud-Est. La forme de la Pangée à la fin du Carbonifère est celle d'un C quasi-fermé, au bord gauche épais ; presque celle d'un D. Il existe deux océans majeurs au Carbonifère, La Panthalassa et la Paléothéthys, à l'intérieur du C formée par la Pangée du Carbonifère récent.

Fin Carbonifère
(- 300 Ma)



© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

Image de la Pangée et de la chaîne hercynienne au Carbonifère



1 La paléogéographie au Permo-Carbonifère (-300 Ma).

Q1: sachant que le substrat continental favorise l'accumulation des précipitations neigeuses et donc l'installation et l'extension des calottes polaires quelles sont les conséquences de cette paléogéographie au carbonifère ? Quels en sont les témoins ?

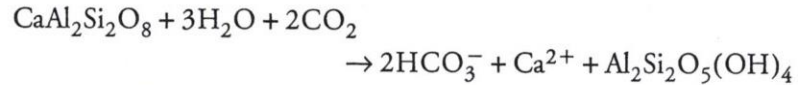
Q2: quel sera l'effet sur l'albédo terrestre et donc la température ?

Les conséquences climatiques de l'orogénèse hercynienne

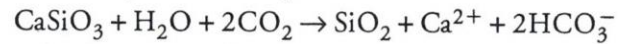
Au carbonifère, la collision entre la Laurasia et le Gondwana provoque la formation de la chaîne hercynienne. Les minéraux des roches de la croûte continentale s'altèrent sous l'effet de l'eau et les ions libérés sont acheminés vers l'océan.

Altération continentale des silicates: 2 exemples

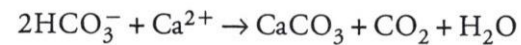
Altération d'un Feldspath calcique



Altération d'un Pyroxène calcique



Dans les deux cas, l'eau entraîne les ions vers l'océan où ils vont précipiter sous forme de calcaire



Altération continentale des carbonates

Un carbonate peut être altéré et la réaction chimique est la suivante :



Au niveau des océans, il y a **précipitation** des carbonates.

La réaction s'écrit :

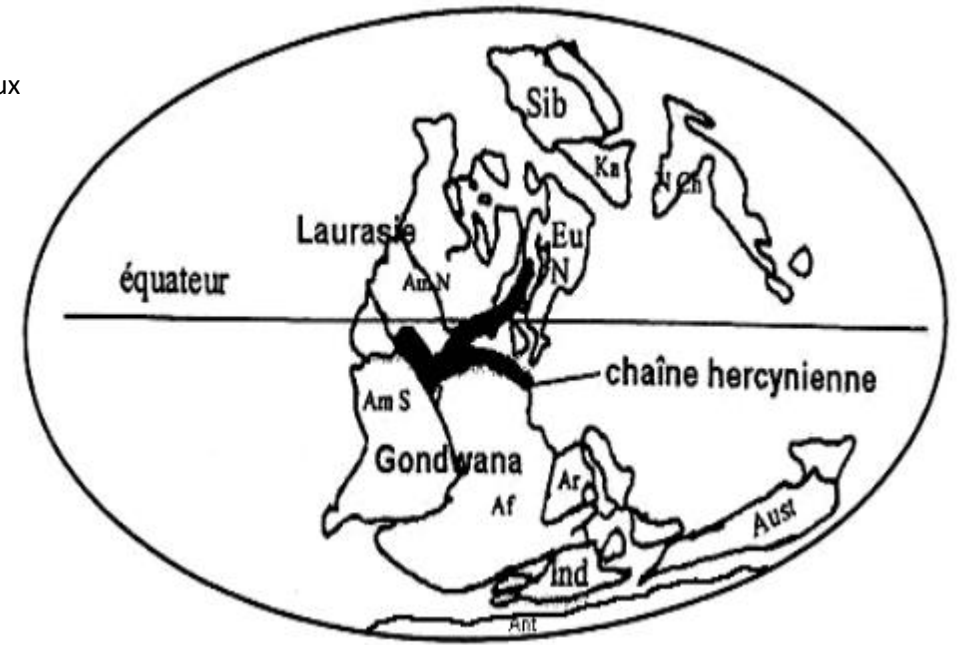


Réaction favorisée lorsque la température est élevée et la pression en CO_2 est faible

Réactions de dissolution- précipitation des carbonates océaniques

Par ailleurs au niveau des océans il y a des phénomènes permanents de dissolution et précipitation (le plus souvent assurée par des êtres vivants) qui se compensent, d'où l'équilibre:

La réaction d'équilibre s'écrit :

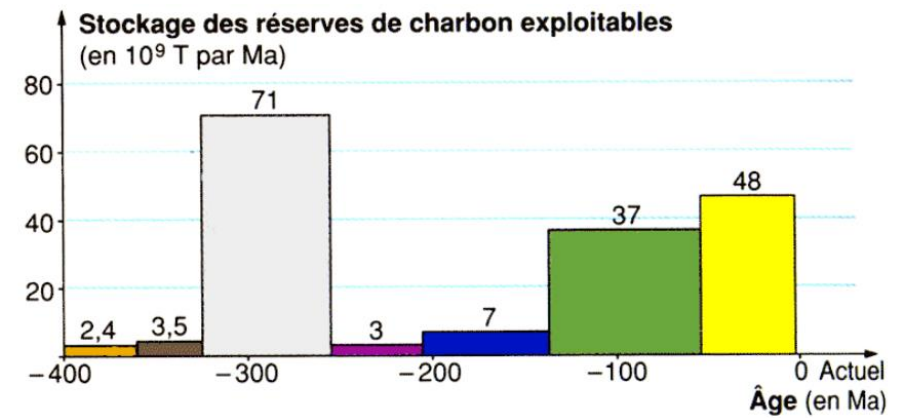
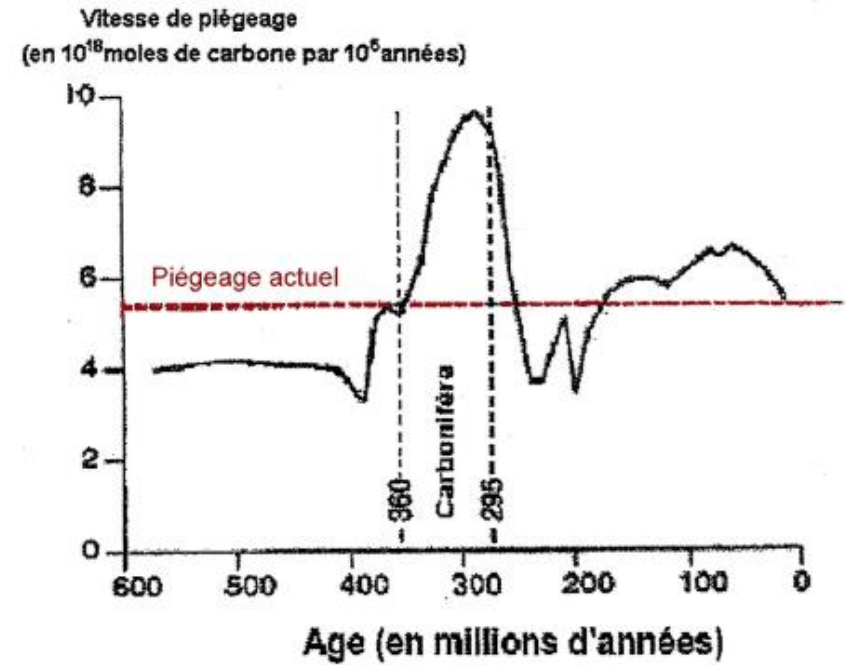
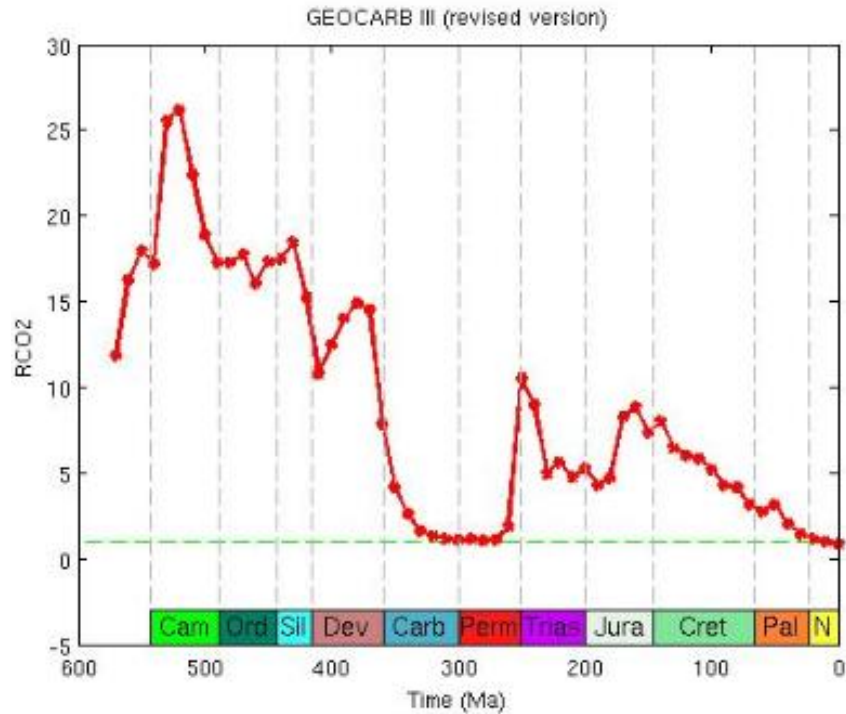


Récif corallien

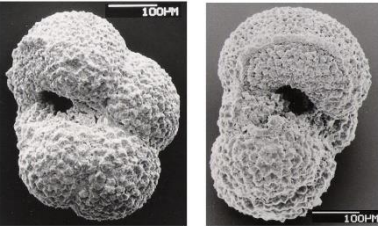
- Q1: quel est le bilan en CO_2 de l'altération et précipitation du calcaire pour un silicate ? Un carbonate ?
Q2: dans quel sens ces phénomènes font-ils évoluer le taux de CO_2 et de la température ?
Q3: quel est le bilan des réactions de dissolution/précipitation des carbonates dans l'océan ?
Q4: quel est globalement l'effet de l'altération de la chaîne hercynienne sur le climat ?

La teneur en CO₂ atmosphérique au Carbonifère

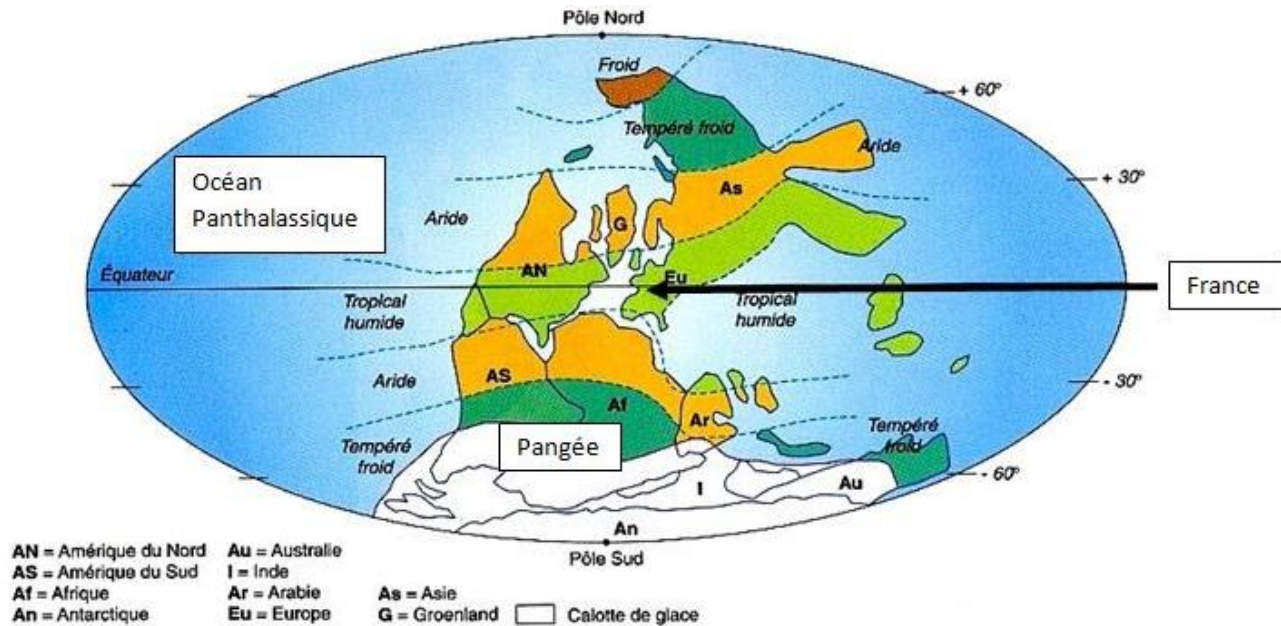
Q1: le RCO₂ ou rapport de la teneur en CO₂ passée sur la teneur actuelle a été estimé grâce à l'analyse de différents isotopes dans les concrétions calcaires des sols fossiles (paléosols): que se passe-t-il au Carbonifère- Permien ?
 Q2: Quel impact ce phénomène a-t-il sur l'effet de serre et la température ?
 Q3: Comment expliquer cette variation importante de la teneur en CO₂ ?



Bilan du Carbonifère - Permien



Neogloboquadrina pachyderma (Ehrenberg); umbilical (left) & lateral (right) views



Climat	Données sédimentologiques	Données paléontologiques	Données morphologiques
Chaud et aride	Evaporites et calcaire	Petit conifères	
Tropical	Argiles rouges (Latérites et bauxites)	Coraux Foraminifères dextres (N. pachyderma)	
Tempéré chaud	Charbon , évaporites, kaolinite	Forêt abondante	
Tempéré froid	Charbon + tillites		
Froid	Tillites Roche striée	Foraminifères senestres (N. pachyderma)	
			Figures d'érosion glaciaires , moraines, vallée en auge (U)

Au Carbonifère - Permien, la Terre subit une période froide avec glaciations. Elle trouve son origine dans la conjonction de plusieurs facteurs:

- la paléogéographie, en particulier la présence de masses continentales regroupées dans la partie australe qui facilitent la formation d'une énorme calotte de glace (cf localisation des tillites) ce qui augmente l'albédo et baisse la température.
- La formation d'une immense chaîne de montagnes, la chaîne hercynienne et simultanément l'altération des minéraux silicatés qui consomme de grosses quantités de CO₂ et par conséquent fait diminuer l'effet de serre d'où refroidissement.
- La présence de vastes forêts dans les régions tropicales humides et tempérées dont le stockage d'énormes quantités de matières organiques produira ultérieurement les plus grands gisements de charbons (d'où carbonifère) et de pétrole. Cette fossilisation du carbone , par l'effet de serre qui diminue va à son tour faire baisser la température.



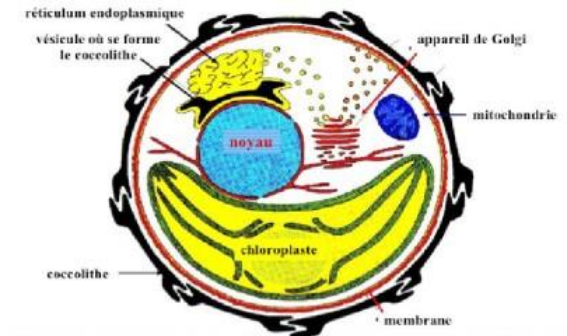
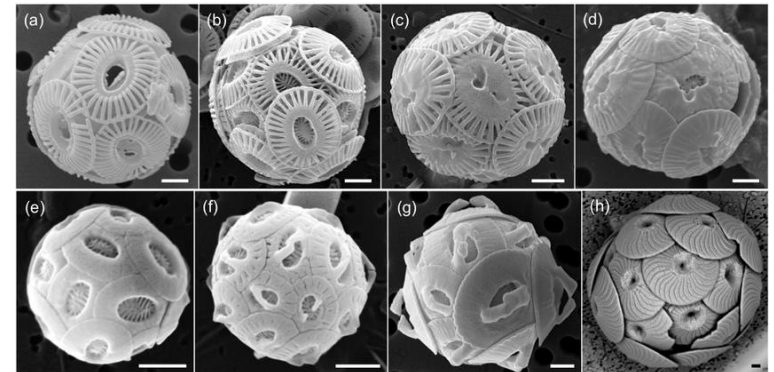
Mésozoïque: le climat au Crétacé

CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Holocène (récent) Pléistocène
	TERTIAIRE	1,6 — Pliocène
		5,3 — Miocène
		23,7 — Oligocène
		36,8 — Éocène
57,8 — Paléocène		
	66,4	
MÉSOZOÏQUE (Secondaire)	CRÉTACÉ	144
	JURASSIQUE	208
	TRIAS	245
	PERMIEN	

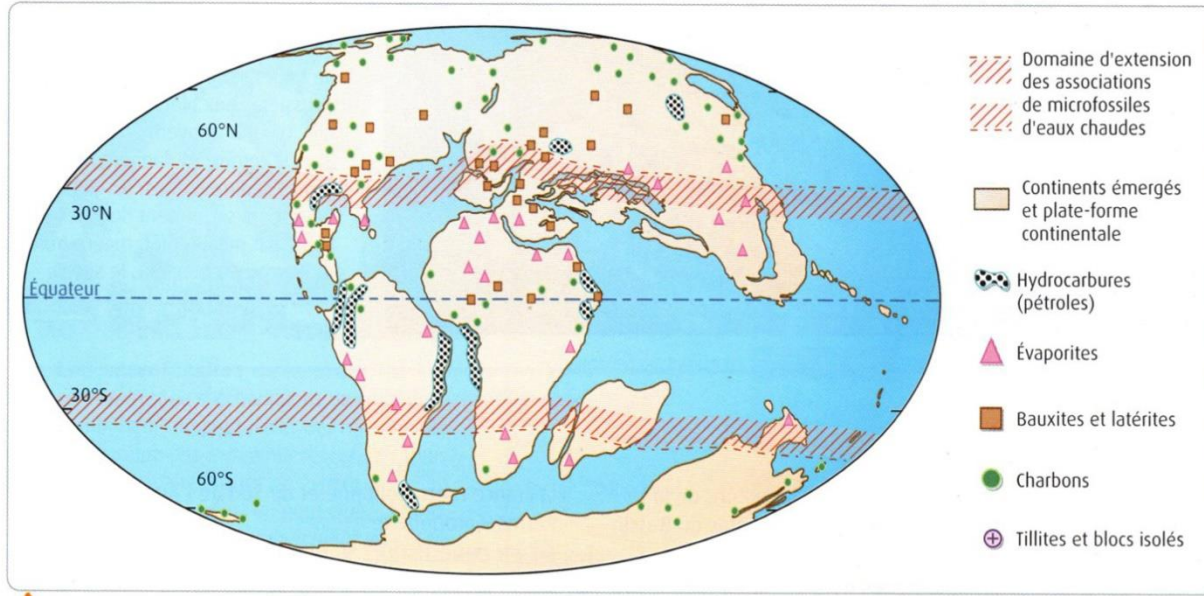


Photographie : Bernard Hoyer

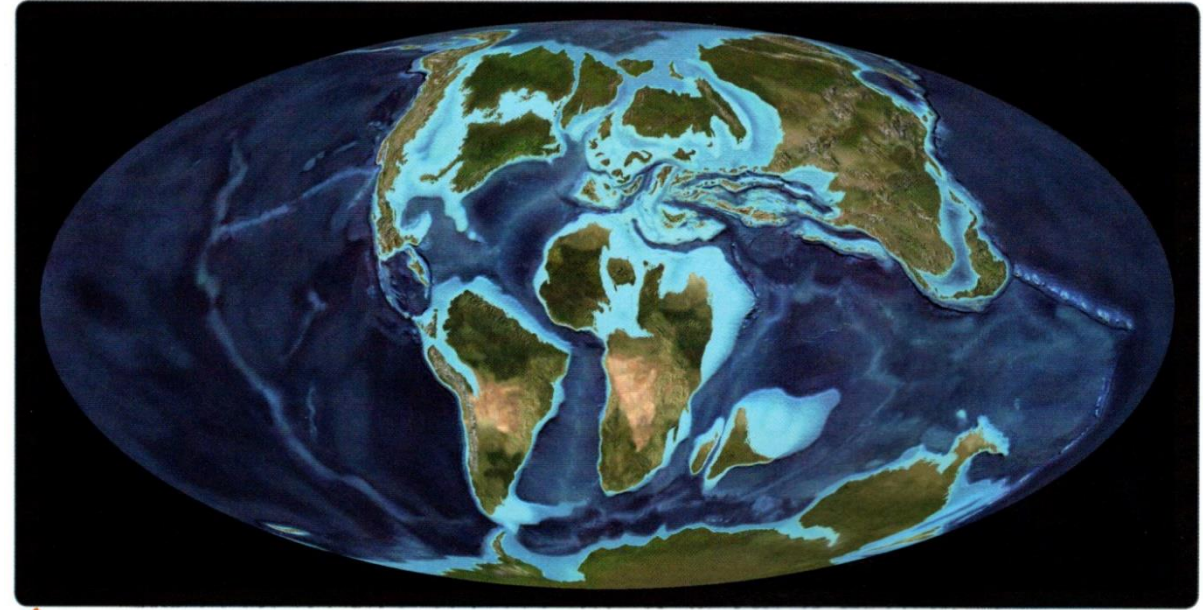
Le Crétacé est une période géologique qui s'étend de ~145 MA à ~ 65 MA, nommée ainsi d'après le latin « creta », la craie, caractéristique des falaises d'Etretat mais présent plus généralement en Europe, notamment en Grande Bretagne. La craie est une roche sédimentaire formée par l'accumulation des squelettes d'algues microscopiques marines, les coccolithophoridés.



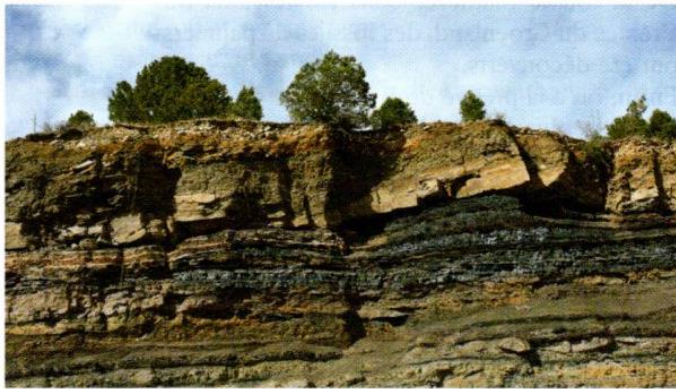
Les indices sédimentologiques



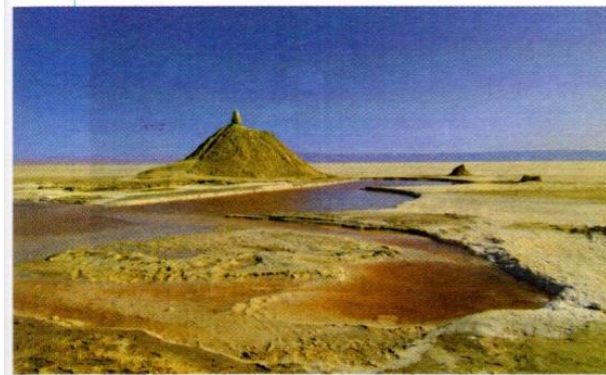
2 Carte de la répartition mondiale de quelques roches sédimentaires au Crétacé supérieur (-90 à -65 Ma).



2 La paléogéographie au Crétacé supérieur (-90 Ma).



Couches de charbon du Crétacé (Colorado, États-Unis)



Plaine saline du Chott el-Jérid dans le Sud tunisien (Évaporites actuelles)

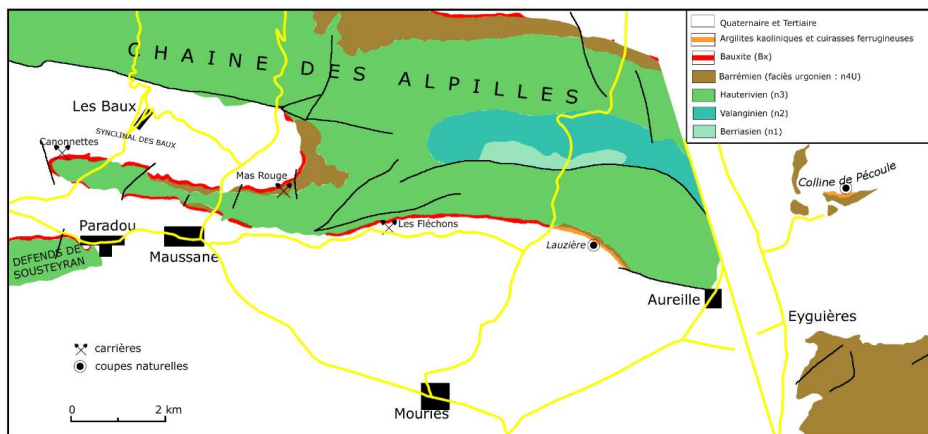
La paléogéographie du Crétacé est très différente de l'actuelle, l'océan atlantique commence juste à s'ouvrir, l'Inde est encore très au sud, les continents nord américain et sud américain sont séparés... de nombreuses plates formes continentales sont submergées par des mers épicontinentales.

Des bauxites du Crétacé dans le sud de la France

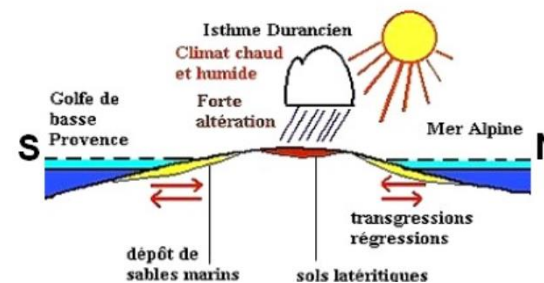


La bauxite est une roche latéritique à forte teneur en alumine et oxydes de fer découverte par Berthier en 1821 sur la commune des Baux de Provence. Ce sera le premier site industriel producteur d'aluminium au monde. Les principaux minéraux sont la gibbsite, la boehmite, hématite et goethite et kaolinite.

- Q1: décrivez la répartition en latitude des roches sédimentaires du Crétacé.
 Q2: comparez avec la répartition des sols latéritiques mondiale actuelle
 Q3: que déduisez vous de l'absence au Crétacé de tillites ?
 Q4: Quel bilan climatique faites vous du Crétacé à la lumière de ces informations sédimentologiques ?



Carte géologique simplifiée de la Chaîne des Alpilles et de la région de Pécoule (Parron, 1983)



Les Baux de Provence

Les indice paléontologiques

L'arbre à pain (*photographie*) est originaire d'Océanie. Il a été introduit aux Antilles à la fin du XVIII^e siècle. Il est très abondant sous les tropiques où ses fruits sont consommés pour leur forte teneur en sucre. Cet arbre atypique existe depuis bien longtemps puisqu'on trouve des formes fossiles dans des roches sédimentaires du Crétacé. La surprise est que certains fossiles ont été retrouvés en Alaska !

De la même manière, dans les terrains du Crétacé du Groenland, des fossiles de palmiers ont été découverts.

Enfin, on a la preuve de la présence de forêts sous les plus hautes latitudes, alors, qu'aujourd'hui, la végétation de ces régions est représentée par la toundra.



Doc. 1 Des informations apportées par la paléoflore.

Le Crétacé est une période faste pour le développement des dinosaures même s'ils disparaissent à la fin de cette période du fait d'événements bio-géologiques majeurs. Des fossiles de dinosaures ont été retrouvés à presque toutes les latitudes, même les plus australes, puisque l'on a mis à jour des fossiles de dinosaures à 75° de latitude sud.

Les crocodiliens sont aussi présents en abondance dans les roches sédimentaires du Crétacé. On a, par exemple, mis à jour une forme géante, *Deinosuchus* (« crocodile terrible »), qui fréquentait, à cette époque, certains lacs du nord de l'Amérique. La *photographie ci-contre* permet de comparer la taille de son crâne à celle d'un crocodilien actuel. Des fossiles de crocodiles ont également été retrouvés au sud de l'Inde (qui était alors beaucoup plus au sud qu'aujourd'hui) ainsi qu'en Sibérie.

Enfin, la limite nord de répartition des récifs coralliens se situe aujourd'hui vers 30°N ; elle était de 60°N au Crétacé.



Doc. 2 Des informations apportées par la paléofaune.

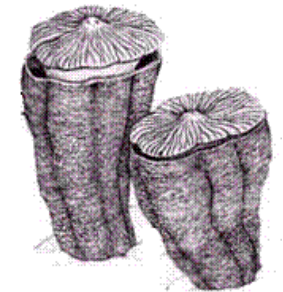
Coraux et rudistes. Au Crétacé, coraux et rudistes construisent d'énormes récifs calcaires dans une mer peu profonde, la Téthys. Celle-ci s'étend entre 40° de latitude Nord sur l'emplacement actuel de l'Europe, réduite alors à un archipel, et sur les plates-formes sud-asiatiques, et 40° de latitude Sud ; elle rejoint à l'ouest l'Atlantique. Les rudistes ont disparu brutalement à la fin du Crétacé ; les coraux ont des représentants actuels dans la zone intertropicale.

Les récifs du Crétacé comprenaient les Rudistes et les Coraux.

Les rudistes sont des mollusques bivalves qui apparaissent au Jurassique supérieur et disparaissent à la fin du Crétacé. Au Castellet dans le sud de la France, la barre récifale à Rudistes est épaisse de 25 m.

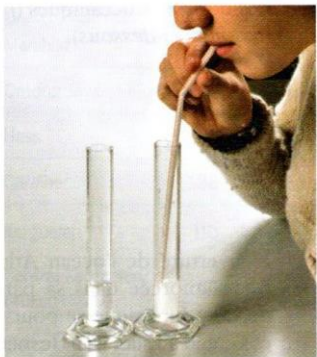


Photographie : Romain Bouchet Bert-Manoz

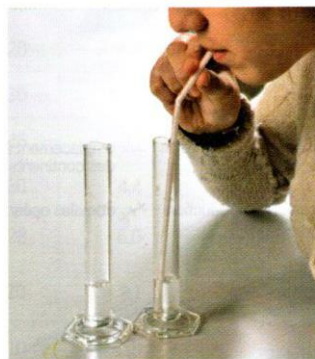


Précisez les informations climatiques apportées par l'étude de la paléoflore et paléofaune

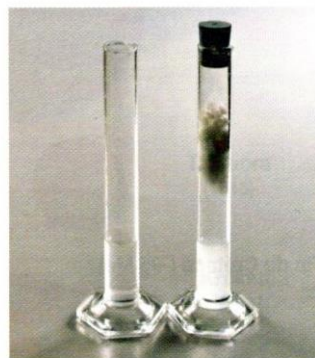
Dissolution et précipitation des carbonates: approche expérimentale



1. Souffler plusieurs fois dans un tube à essais contenant de l'eau de chaux, Ca(OH)_2 :



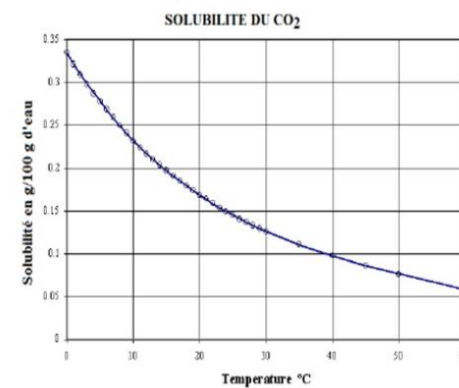
2. Dans ce même tube, continuer à souffler (plusieurs minutes si nécessaire).



3. Placer dans le tube un tampon de coton soutenant des pastilles de potasse, puis boucher le tube. La potasse est un absorbeur de CO_2 .

Q1: réalisez les 3 manipulations suivantes et écrire les réactions chimiques de chacune d'entre elles.

Q2: comment évolue le solubilité du dioxyde de carbone lorsque la température augmente ?



Dissolution et précipitation des carbonates dans la nature



Q3: précisez la réaction chimique qui se déroule dans chacune de ces situations

Evaluation du taux de CO₂ et de la température du Crétacé

Le *Ginkgo biloba* est une espèce d'arbre qui a peu varié depuis 200 Ma, ses feuilles ont conservé les mêmes caractéristiques (*photographie a*). Sur les feuilles fossiles les mieux conservées, on peut retrouver les stomates comparables à ceux visibles au microscope sur les feuilles actuelles (*photographie b*).

Les stomates sont des orifices présents dans l'épiderme des feuilles qui permettent les échanges gazeux entre la plante et le milieu.

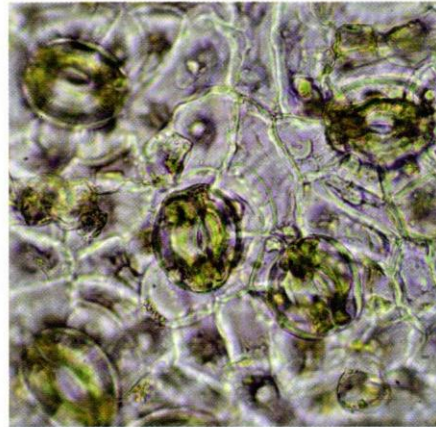
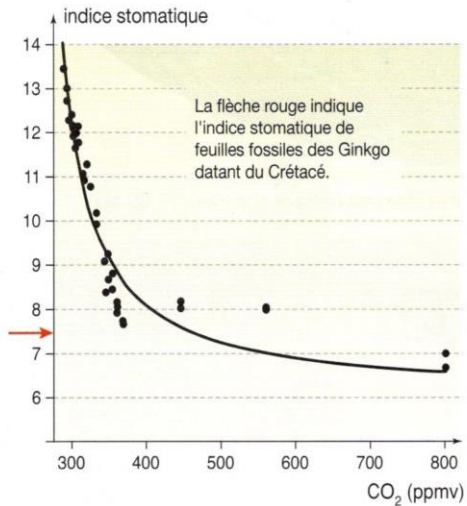


a Feuilles de *Ginkgo biloba* (actuel et fossile)

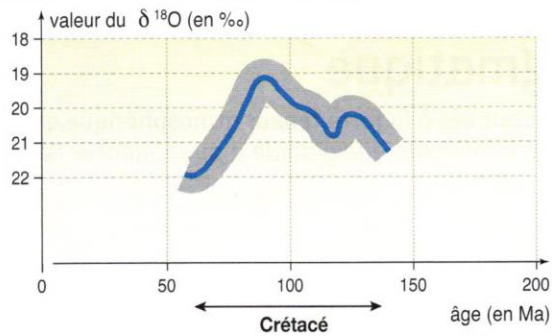
- Q1: comment varie l'indice stomatique lorsque le nombre de stomates diminue ?
 Q2: comment varie l'indice stomatique lorsque la teneur en CO₂ augmente ?
 Q3: quelle est la teneur en CO₂ au crétacé (exprimée en parties par million en volume = ppmv) ?
 Q4: comment évolue le delta O18 au crétacé ? Comment a évolué la température ?

On définit l'**indice stomatique** d'une feuille comme le pourcentage de stomates dénombrés sur la face inférieure des feuilles par rapport au nombre total de cellules épidermiques.

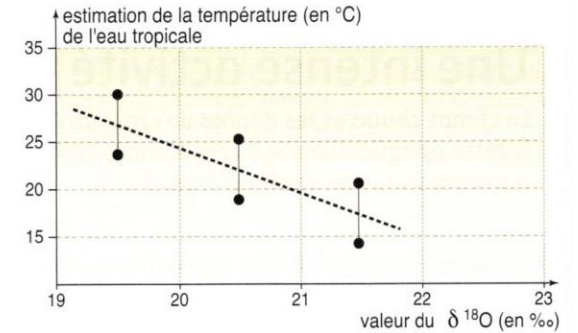
Il existe une relation entre cet indice stomatique et le taux de CO₂ atmosphérique comme l'indique le graphique ci-dessous.



Empreinte de feuille de *Ginkgo biloba* actuel



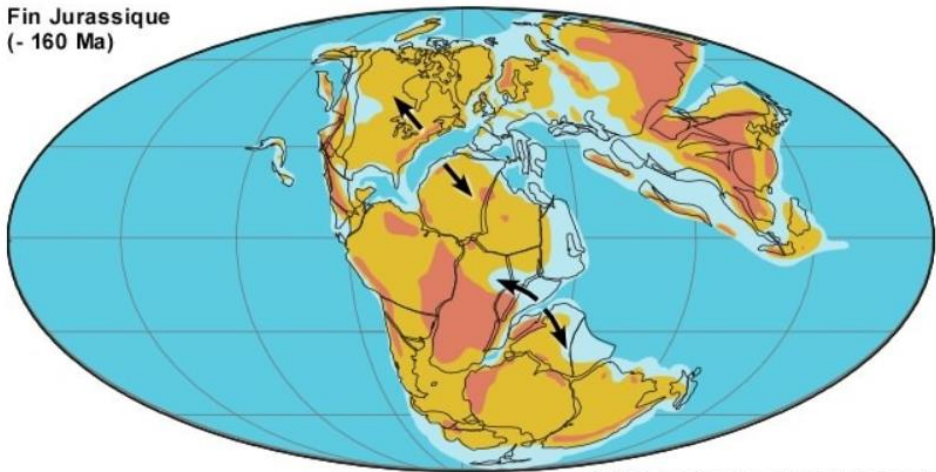
À partir de mesures effectuées sur des carbonates de calcium, il a été possible de déterminer les variations du δ¹⁸O au cours du Crétacé.



On connaît, par ailleurs, la relation entre les variations de δ¹⁸O marin et la température de l'eau (*graphe ci-dessus*).

L'origine du réchauffement climatique au Crétacé: une forte activité des dorsales

Fin Jurassique (- 160 Ma)

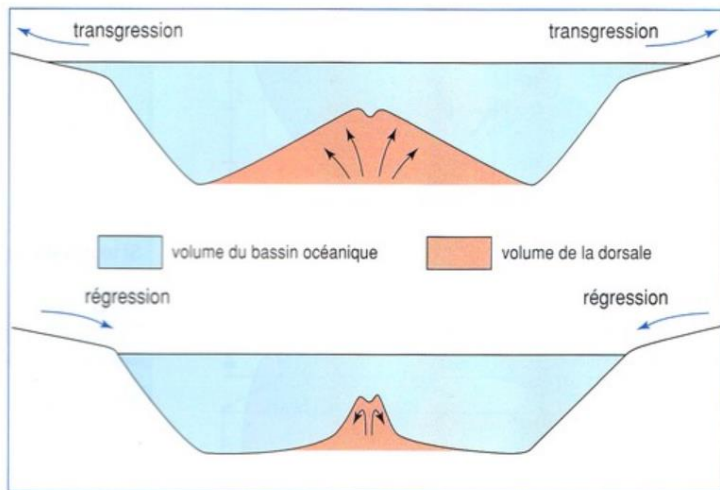
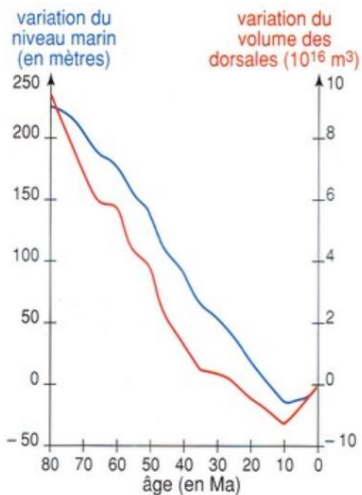


© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP Project

Jurassique supérieur (-152 Ma)



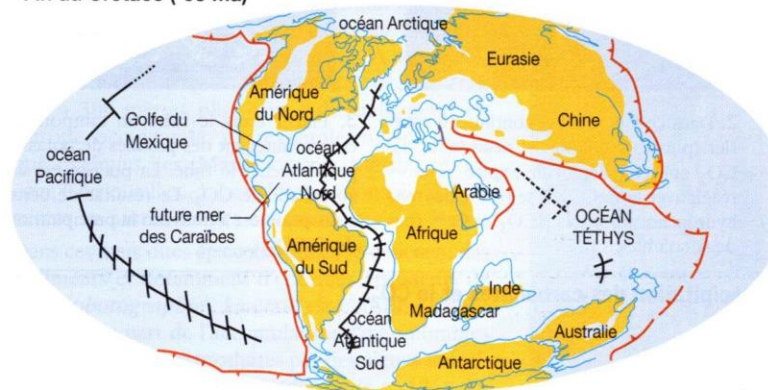
Le Crétacé est une période de bouleversements de la géographie planétaire. La Pangée, masse continentale « monobloc » constituée à la fin du Paléozoïque (-250 Ma) est déjà fragmentée avant le début du Crétacé (*planisphère ci-contre*). Elle va continuer à se morceler au cours du Crétacé du fait de l'extension des domaines océaniques (*planisphère ci-dessous*).



Lorsque l'activité magmatique au niveau des dorsales océaniques s'intensifie, les océans « entrent en expansion ». En effet, les quantités de laves émises sont alors énormes ; les dorsales prennent un aspect boursoufflé et leur volume augmente considérablement, diminuant d'autant le volume libre

du bassin océanique. L'eau déborde alors sur les continents provoquant une transgression généralisée de grande ampleur. À l'inverse, lors d'un ralentissement de l'expansion océanique, le volume des dorsales diminue et le niveau marin baisse.

Fin du Crétacé (-95 Ma)



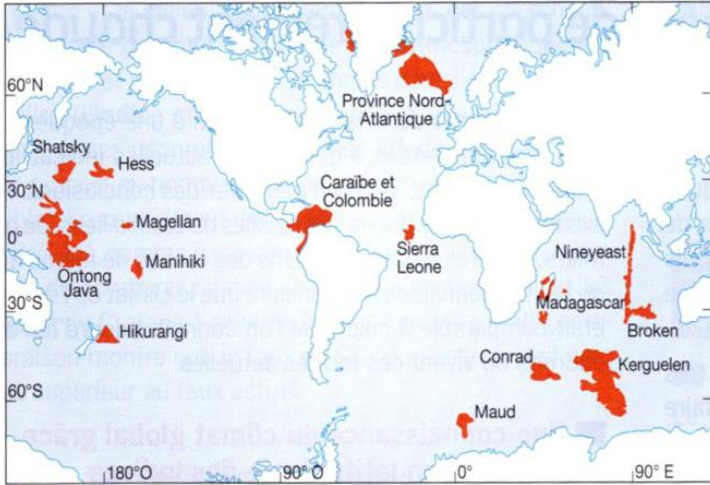
L'ouverture de l'océan Atlantique amorcée dans sa partie nord au Jurassique se poursuit et s'étend au sud. Dans le même temps, la fermeture de la Téthys s'accompagne d'une migration vers le nord du sous-continent indien.

Le Crétacé est donc une période de très forte activité des dorsales océaniques. La production magmatique est énorme : plusieurs millions de km^3 de roches magmatiques se mettent en place chaque million d'années.

Cet afflux considérable de magma à l'aplomb des dorsales a une conséquence : le volume de ces dernières augmente considérablement (on parle d'intumescence thermique). Cette augmentation de volume diminue d'autant le volume libre disponible pour l'eau de mer dans les bassins océaniques.

En outre, tout indique qu'à cette époque il n'existe pas de calottes glaciaires dans les régions polaires. Ces deux phénomènes (intumescence des dorsales et absence de grandes masses glacées) concourent au même résultat constaté précédemment : les océans débordent sur les marges continentales.

Une intense activité de certains points chauds

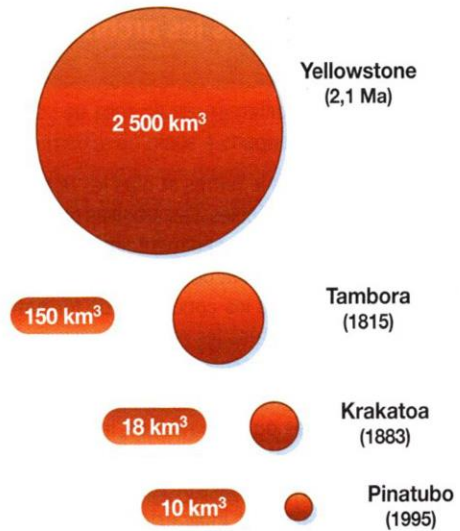


Principales Provinces Volcaniques Géantes (LIP en anglais)

Au début des années 1970, grâce à des prospections sismiques, on découvre dans le Pacifique Ouest au niveau des îles Salomon (Ontong Java), une large portion de croûte océanique épaisse de plus de 30 km (contre 6 à 7 km par ailleurs). Le parallèle est vite établi avec les **trapps** continentaux, vastes étendues de laves empilées formant des falaises en escalier (comme en Sibérie ou en Inde, par exemple). Beaucoup de ces énormes épanchements volcaniques, nommés Provinces Volcaniques Géantes (LIP en anglais), ont été datés du Crétacé (*voir tableau*). Pour expliquer ces phénomènes volcaniques intenses mais brefs à l'échelle des temps géologiques (environ un million d'années par LIP), on imagine le fonctionnement d'énormes points chauds dont la mise en place serait consécutive au morcellement de la Pangée.

Plateaux océaniques	Âge (Ma)	Surface (10 ⁶ km ²)	Épaisseur (km)	Volume de lave rejeté (en 10 ⁶ km ³)
Hikurangi	100	0,7	10-15	2,7
Manihiki	123	0,8	20	8,8
Ontong Java	120	1,9	30	44,4
Hess	99	0,8	15	9,1
Caraïbe	88	1,1	20	4,4
Kerguelen	110	1,0	22	6,0
Central Kerguelen/ Broken	86	1,0	20	9,1
Sierra Leone	73	0,9	10	2,5
Maud	73	0,2	10	1,2

Estimation des volumes de lave rejetés au niveau des Provinces Volcaniques Géantes



Une comparaison intéressante : les volumes de **téphras** rejetés lors d'éruptions volcaniques aériennes majeures

	CO ₂	SO ₂	HCl
10 éruptions de l'Etna	110.10 ⁶	4.10 ⁶	8.10 ⁵
Éruptions volcaniques à l'échelle de la planète	180.10 ⁶	7,5.10 ⁶	7,5.10 ⁵

7 Volume des gaz volcaniques de l'Etna (somme de 10 éruptions) et de l'ensemble des éruptions volcaniques à l'échelle de la planète (en tonnes.an⁻¹).

Type de volcanisme	Flux globaux de CO ₂ (10 ⁶ tonnes.an ⁻¹)
Volcanisme sous-marin (dorsales océaniques)	44 à 61
Volcanisme aérien (zone de subduction, point chaud)	97 à 114

8 Estimation des flux globaux de CO₂ en fonction du type de volcanisme.

Le Crétacé est caractérisé par une activité tectonique et une activité des points chauds considérable.

Q1: comment expliquer vous la transgression marine généralisée à cette époque ?

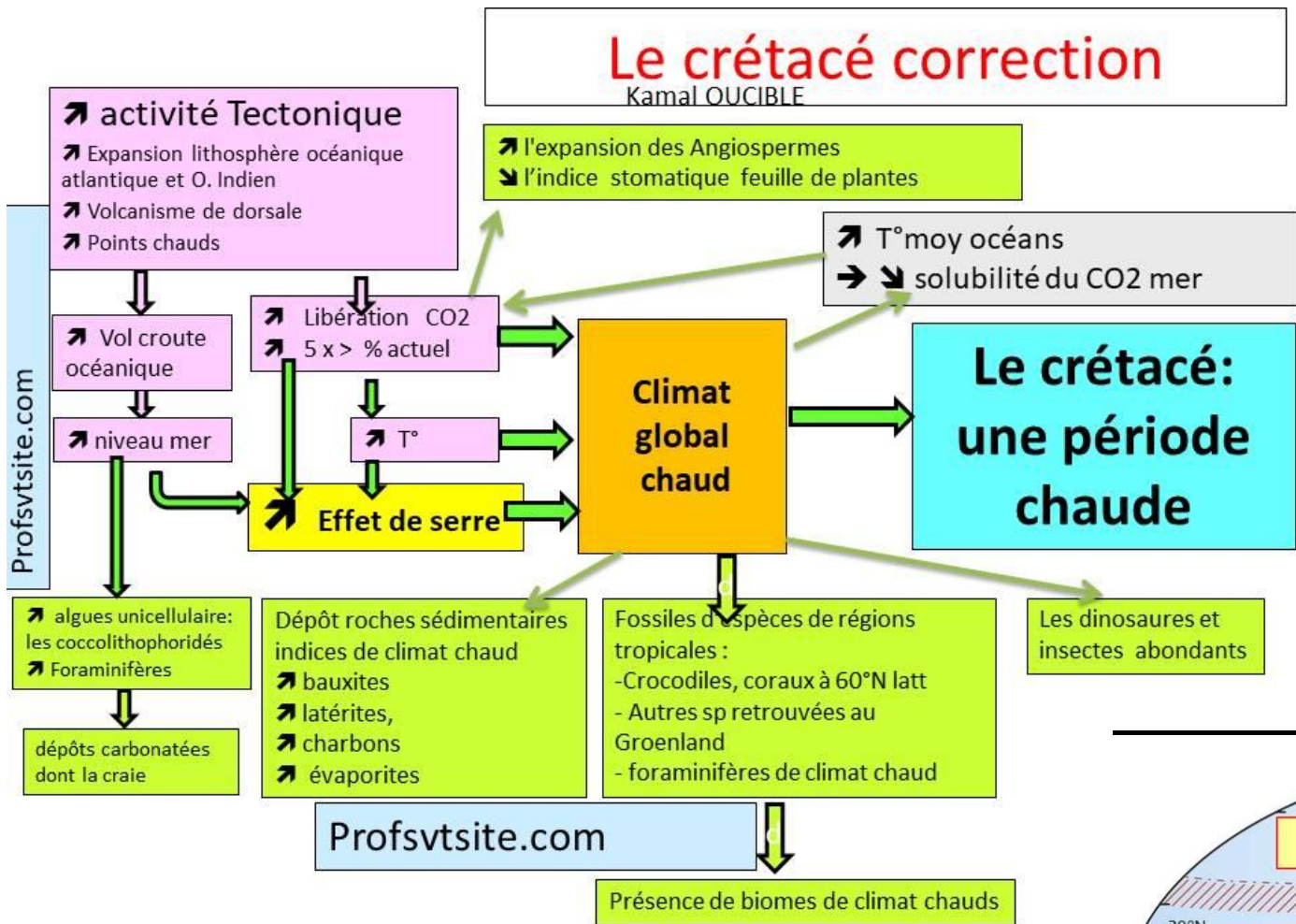
Q2: sachant que l'ensemble des dorsales produit aujourd'hui 20 km³ de roches magmatiques par an, et qu'un gros volcan comme le Pinatubo a produit en moyenne 100 km³ par siècle (10 km³ pour la seule éruption de 1995), déterminez l'importance de la production magmatique par les Provinces Volcaniques Géantes (LIP) au Crétacé.

Q3: montrez que le volcanisme au Crétacé a produit d'immenses quantités de CO₂.

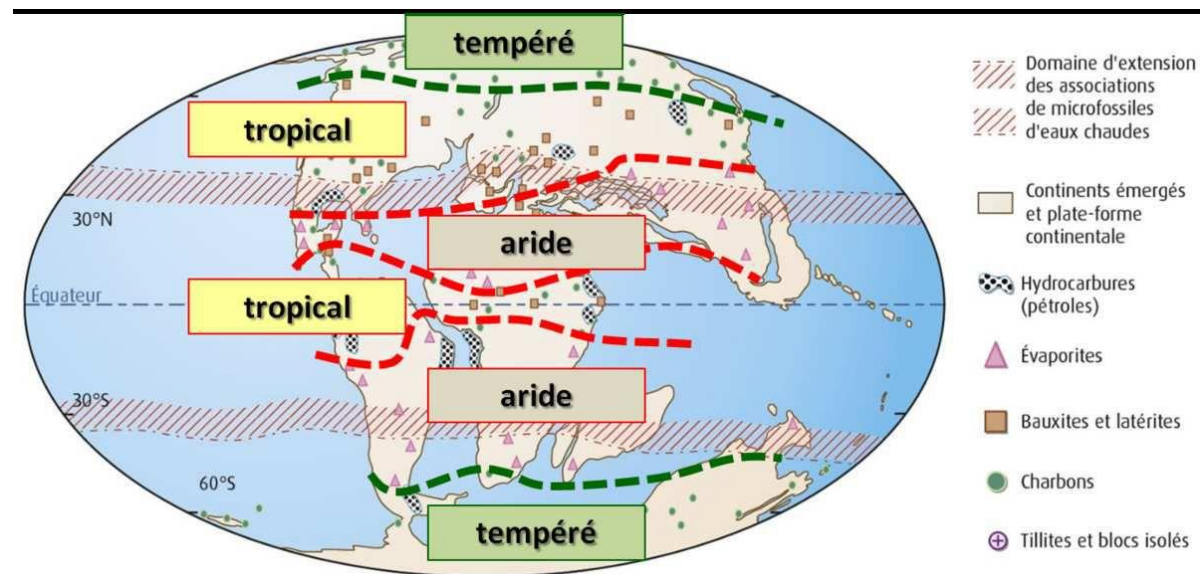
Q4: sous forme d'un schéma bilan montrez comment la géodynamique globale a pu influencer l'évolution climatique au Crétacé.

Le crétacé correction

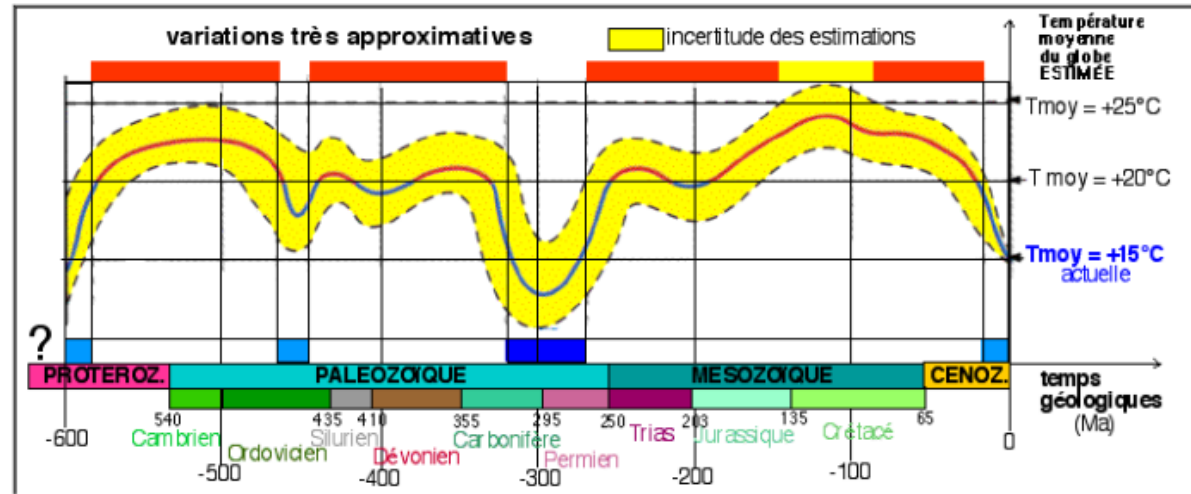
Kamal OUCIBLE



Eléments de correction



Bilan:



Au Paléozoïque, des indices paléontologiques et géologiques, corrélés à l'échelle planétaire et tenant compte des paléolatitudes, révèlent une importante glaciation au Carbonifère-Permien.

Par la modification du cycle géochimique du carbone qu'elles ont entraînée, l'altération de la chaîne hercynienne et la fossilisation importante de la matière organique (grands gisements carbonés) sont tenues responsables de cette glaciation.

Au Mésozoïque, pendant le Crétacé, les variations climatiques se manifestent par une tendance à une hausse de la température du fait de l'augmentation de l'activité des dorsales et de points chauds par suite de l'éclatement de la Pangée.