

LE CLIMAT AU PALÉOZOÏQUE

Les indices de variations du climat pour le paléozoïque (Carbonifère-Permien)

1. Les stomates, outils pour reconstituer la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

Les variations climatiques de la planète sont associées à des modifications de la composition de son atmosphère en gaz à effet de serre.

La conservation des bulles d'air dans les glaces permet des mesures directes de la teneur en CO₂ de l'atmosphère sur les 800 000 dernières années (passé récent), ce qui permet d'envisager les variations climatiques du passé récent.

Pour des temps géologiques plus anciens (supérieur à 800 000 ans), nous n'avons pas à disposition des carottes de glace. On utilise donc des méthodes indirectes. L'une de ces méthodes utilisables repose sur des indices paléontologiques : l'observation de feuilles fossiles. On a montré expérimentalement que les feuilles possèdent un indice stomatique (= nombre de stomates par unité de surface), qui varie avec la concentration atmosphérique de CO₂.

Ressources

-L'indice stomatique (IS) correspond au nombre de stomates (S) dénombré sur la face inférieure des feuilles par rapport au nombre total de cellules de cet épiderme, c'est-à-dire la somme des cellules non chlorophylliennes (CNC) et des stomates (S).

Il est exprimé en %.

$$IS \text{ (en \%)} = \frac{S \times 100}{(CNC + S)}$$

- Des études en laboratoire sous atmosphère contrôlée en CO₂ ont permis de déterminer l'indice stomatique de feuilles pour différentes concentrations de CO₂ : il est inversement proportionnel à la concentration atmosphérique en CO₂

- L'indice stomatique des feuilles fossiles datant de la fin du Carbonifère est de 12 % et celui d'une feuille actuelle est de 2,34 %.

Matériel :

-Fichier de données expérimentales donnant l'indice stomatique en fonction de la concentration de CO₂ atmosphérique

Protocole

- **Télécharger** sur l'ENT Moodle le fichier de données expérimentales et **construire** un graphique (courbe de tendance) représentant l'indice stomatique (%) en fonction de la concentration de CO₂ atmosphérique (ppmv = parties par million en volume). **Afficher** l'équation de la droite et le coefficient de détermination R².

- **Déterminer** la concentration de CO₂ atmosphérique du carbonifère et de l'actuel.

2. Les roches sédimentaires, des témoins du climat passé de la Terre

Les roches sédimentaires enregistrent les conditions du milieu de leur dépôt. L'étude de leurs conditions de formation actuelle permet de reconstituer les **paléoenvironnements*** et l'étude de leur répartition géographique permet de **reconstituer la paléogéographie*** et donc le **climat à l'échelle de la planète** (ou climat global) aux grandes échelles de temps.

L'analyse de la nature des roches sédimentaires accumulées sur des périodes de plusieurs dizaines de millions d'années et de leur contenu en fossiles montre des variations du climat à de plus grandes échelles de temps que le quaternaire.

* *paléo* = ancien, donc paléo-environnement = "ancien environnement" = environnement du passé, et paléogéographie = ancienne répartition géographique des continents.

Aides :

En usant du principe d'actualisme (document 1) et à partir des documents à disposition :

-**identifier** les roches principales rencontrées datées du Carbonifère, et **dire** quelles informations elles apportent sur les climats du Carbonifère.

-à partir du document 2 et du document 4, **positionner** sur la carte du document 3, les limites latitudinales des aires climatiques régnant au carbonifère et nommer ces aires.

-comparer la répartition des aires climatiques au carbonifère et celle de la période actuelle (document 4)

Document 1 :

Pour la reconstitution des climats, on utilise souvent **le principe d'actualisme***.

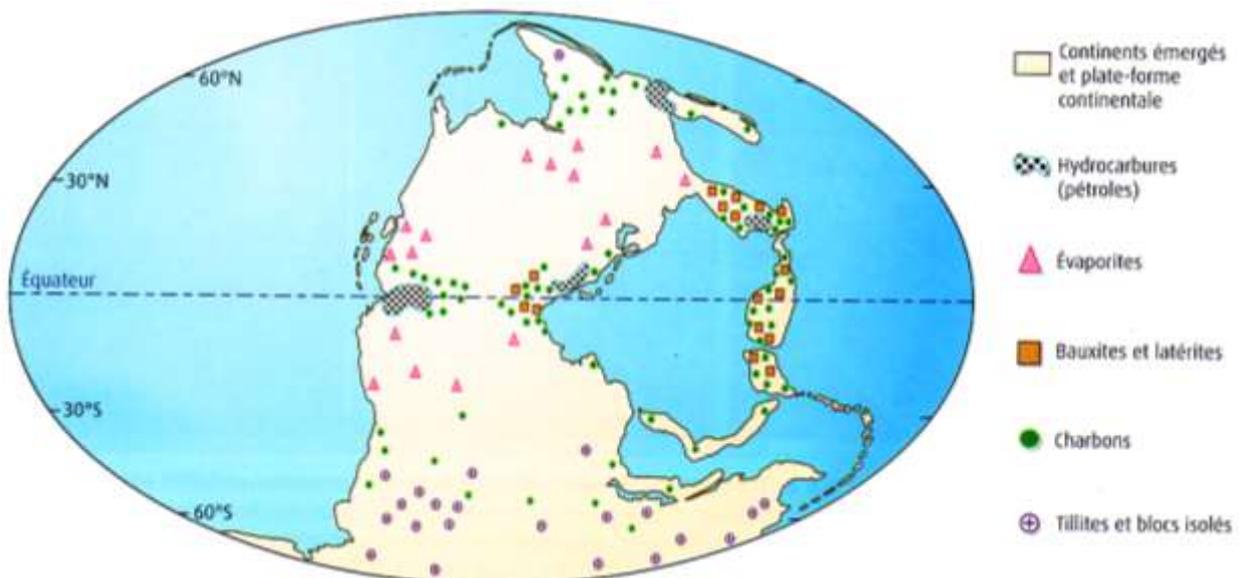
* **Actualisme** : théorie postulant que les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé

Document 2 : Des clefs pour interpréter la répartition des marqueurs climatiques

| | Bauxite et latérite | Évaporite | Pétrole | Charbon | Tillite et blocs isolés |
|------------------------|---|---|---|--|---|
| Roches sédimentaires |  |  |  |  |  |
| 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 | |

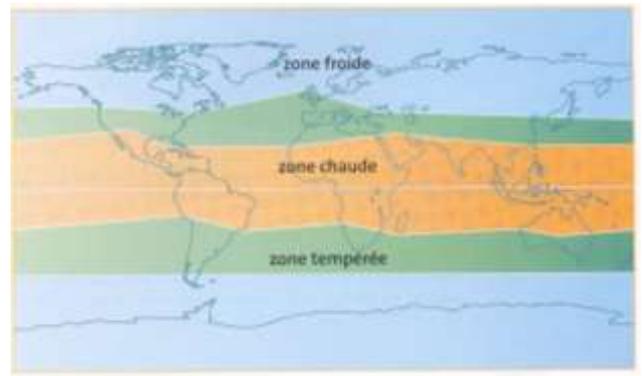
Document 3 : La répartition des marqueurs climatiques datés du Carbonifère à la surface de la planète et l'emplacement des continents.

L'emplacement des continents a une influence importante sur la température du globe car il modifie la circulation océanique et atmosphérique qui, à son tour, peut favoriser un réchauffement ou un refroidissement du climat. Du Cambrien au Permien, la convergence des plaques lithosphériques conduit à une collision générale à l'origine de la formation d'un continent unique, **la Pangée** dont l'essentiel des terres émergées se situe dans l'hémisphère sud. La récolte d'échantillons de roches en divers endroits de la planète permet d'envisager le climat qui régnait à cette époque ainsi que l'étendue des calottes polaires.



Document 4 : La répartition des zones climatiques actuelles.

À partir des températures annuelles, on peut distinguer 3 grands types de zones climatiques : une zone chaude, 2 zones tempérées et 2 zones froides.



L'origine des variations du climat aux grandes échelles

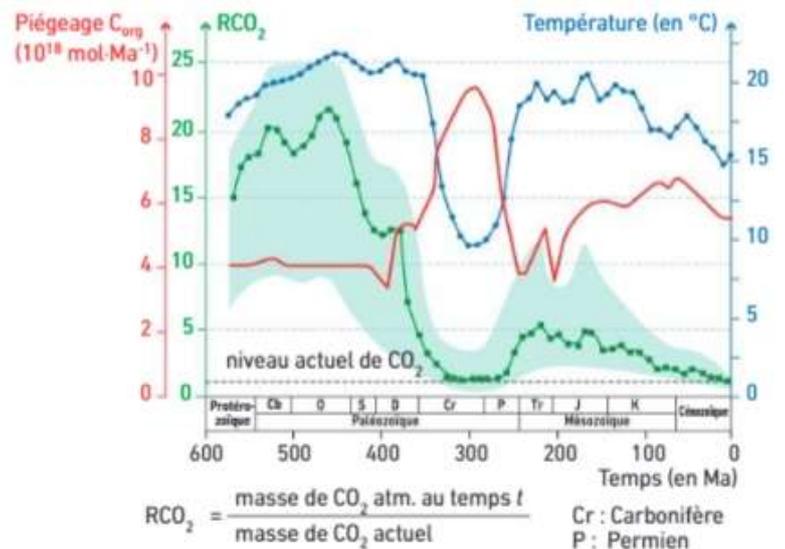
Document 1 : Piégeage du carbone organique, CO₂ et température mondiale depuis 600 Ma

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 CO₂, 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 2 : LE MONDE AU CARBONIFERE : (-355 Ma A -295 Ma)

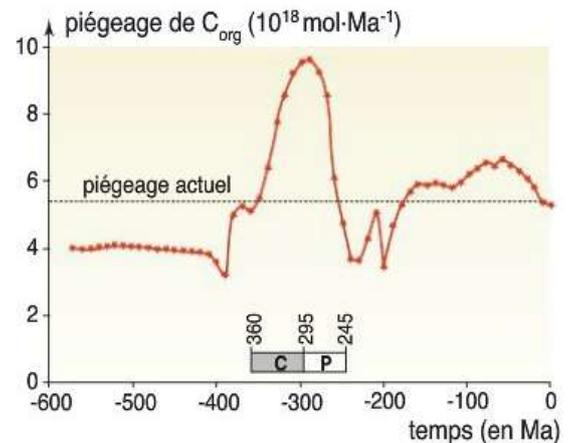
Doc a : parmi les roches retrouvées en abondance et datées de cette période, on retrouve d'importants gisements de charbons (d'où le nom donné à cette période « Carbonifère »).

Une végétation exubérante s'était installée dans toute la zone équatoriale. C'était l'âge d'or des fougères arborescentes.

La matière organique produite par cette végétation a été piégée et fossilisée à l'origine de ces roches carbonées. (Elle n'a donc pas été dégradée par les microorganismes décomposeurs lors de la respiration ou de la fermentation. On estime alors que le carbone est piégé, puisqu'il ne retourne pas dans l'atmosphère sous forme de CO₂).



Reconstitution de la forêt tropicale du carbonifère



Doc b : cette époque est une importante période de convergence continentale : elle est propice aux orogénèses (= formation de chaînes de montagnes). Elle se caractérise par la mise en place d'immenses chaînes de montagnes avec leur cortège de roches granitiques et métamorphiques.

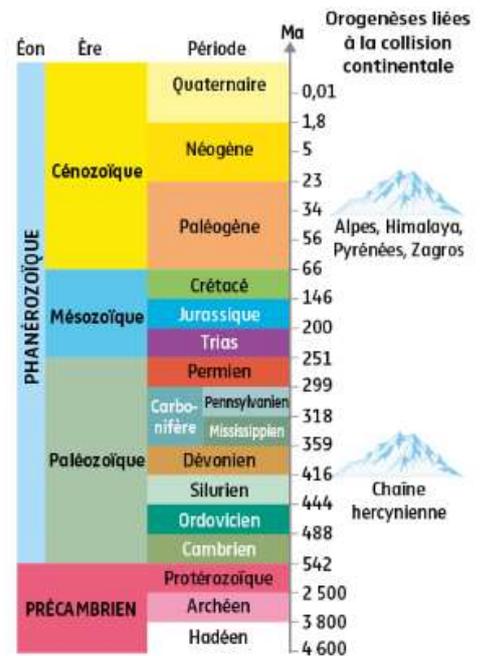
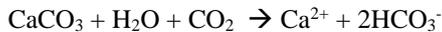
Les orogénèses sont toujours suivies d'altération et d'érosion intenses.

Un important mécanisme d'altération des roches se met en place sous l'action de l'eau de pluie chargée en CO₂ dissous selon la réaction suivante :

Roches silicatées :



Roches carbonatées:



Doc c : L'activité des dorsales océaniques et le volcanisme de points chauds.

Lors du fonctionnement des dorsales océaniques ou des volcans de points chauds, la production magmatique est énorme. En conséquence, d'immenses quantités de CO₂ vont se dégager du magma se retrouvant à la surface terrestre, puis diffuser de l'eau des océans vers l'atmosphère.

Si l'activité des dorsales océaniques ou de certains points chauds a été très importante à certaines périodes de l'histoire de notre planète comme par exemple au Crétacé (mise en place de l'océan Atlantique), elle est très faible (voire inexistante) à l'époque du Carbonifère.

Doc d : La précipitation du carbonate de calcium effectuée par des microorganismes marins.

La craie est une roche sédimentaire formée de l'accumulation de squelettes carbonatés (CaCO₃) de microorganismes marins. Ces microorganismes fabriquent leur squelette en faisant précipiter du carbonate de calcium selon l'équation suivante :



Certaines périodes géologiques ont été propices à l'accumulation de craie, comme au Crétacé supérieur (-100 Ma à -65 Ma) (Ex. : les falaises d'Étretat).

En revanche, les géologues n'ont pas (ou peu) retrouvé de roches sédimentaires carbonatées datant de cette période du paléozoïque.

Document 3 : RELATION ENTRE PALEOGEOGRAPHIE ET ALBEDO

| Type de surface | Extension au Carbonifère | Extension actuelle | Albédo |
|---|--------------------------|--------------------|--------|
| Surface continentale supportant une calotte polaire | 4% | 3,1% | 0,90 |
| Surface océanique englacée | Pas d'enregistrement | 2,95% | 0,90 |
| Surface continentale émergée | 22% | 26,20% | 0,35 |
| Surface océanique liquide | 74% | 67,75% | 0,25 |

Document 4 : Tectonique des plaques et paléogéographie de la Terre au cours des temps géologiques :

<https://youtu.be/bzvOMee9D1o>