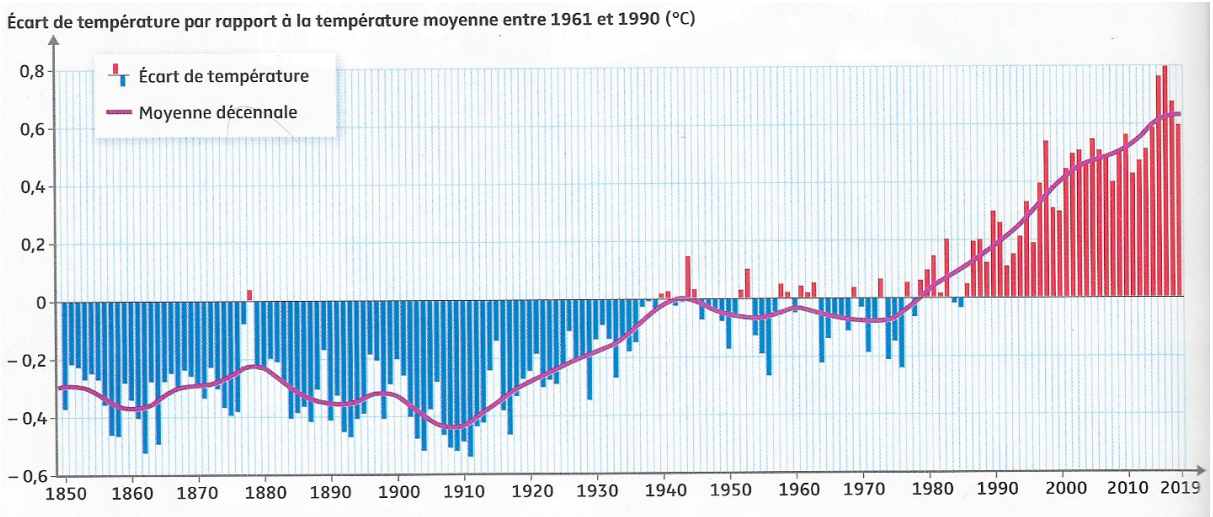
C1. Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées
Documents utilisés (en plus du livre)

Evolution de la température mondiale depuis 1850. D'après SVT spécialité terminale Nathan 2020

Température moyenne annuelle de l'air depuis 1850 par rapport à la moyenne des températures atmosphériques mesurées au sol sur la période 1961-1990.

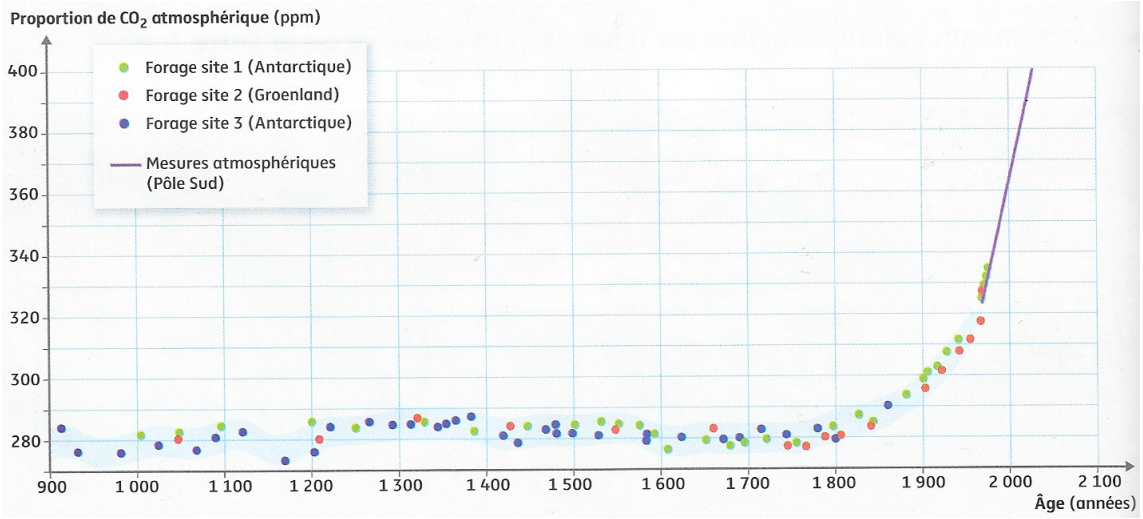
Le zéro correspond à cette moyenne, soit 14,0°C.



Evolution de la proportion de CO_2 dans l'atmosphère depuis l'an 900 (en ppm).

D'après SVT spécialité terminale Nathan 2020

Les mesures en continu de la proportion en CO_2 atmosphérique ont commencé en 1958. Les données avant 1958 ont été obtenues à partie de l'étude des bulles d'air contenues dans les glaces. L'unité ppm signifie « partie par million ». Ainsi, une proportion de 200 ppm de CO_2 dans l'air signifie que pour 1 million de molécules d'air, il y a 200 molécules de CO_2.

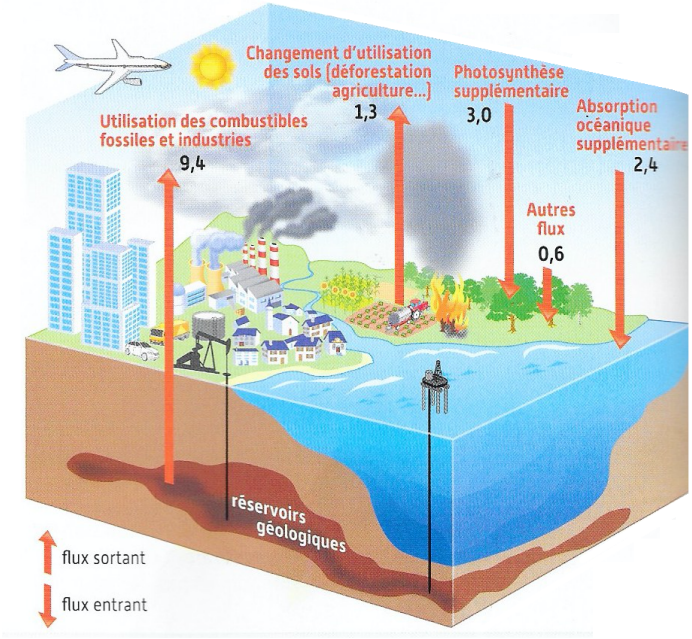


Perturbations anthropiques du cycle du carbone (en Gt de C par an).

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

L'élément carbone se trouve sur Terre dans différents réservoirs et sous diverses formes. Les molécules carbonées sont soumises à des échanges naturels entre ces réservoirs (flux de carbone), qui impliquent des processus chimiques, physiques ou biologiques. Ces flux se mesurent en Gt (milliards de tonnes) de carbone échangé chaque année. Le cycle du carbone est dit équilibré quand les flux entrants et sortants de chaque réservoirs sont égaux. Malheureusement, les activités humaines déséquilibrent fortement le cycle du carbone depuis les révolutions industrielles.

L'augmentation annuelle est de 4,7 milliards de tonnes de CO_2 dans l'atmosphère.



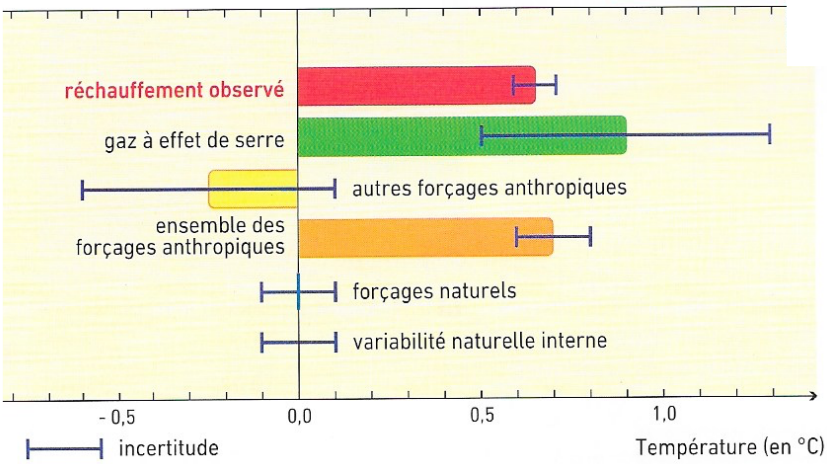
Animation de Météo France sur le cycle du carbone accessible sur le lien :
http://education.meteofrance.fr/lycee/animations/le-cycle-du-carbone (nécessite Flash Player)

Contribution au changement observé de la température de surface entre 1951 et 2010 pour différents types de forçages.

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

Ces estimations sont obtenues à partir d'une combinaison d'observations et de simulations par des modèles climatiques.

Observer une corrélation entre deux phénomènes n'est pas suffisant pour établir un lien de causalité entre eux. Pour comprendre les climats, les scientifiques utilisent des modèles climatiques. Ces modèles tiennent compte des forçages, c'est-à-dire des différents facteurs qui influencent le système climatique. Ces forçages sont positifs s'ils contribuent à augmenter la température, et négatifs s'ils la diminuent. Certains forçages sont dus à l'Homme (émission de GES), d'autres sont d'origine naturelle (activité solaire, volcanisme).



Extension des glaciers du nord des Alpes lors du dernier maximum glaciaire (Würm).

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

Des indicateurs géologiques.

D'après SVT spécialité terminale Hachette Education 2020

Photographie de la Pierre à Martin, à Ballaison, en Haute-Savoie.

Posée au milieu des champs en Haute-Savoie, la « Pierre à Martin » mesure 9 m de long, et 7,30 m de haut. Il s'agit d'un bloc de gneiss, identique aux roches présentes dans le Valais Suisse à 50 km à l'est. C'est un bloc erratique qui témoigne du passage du glacier du Rhône.

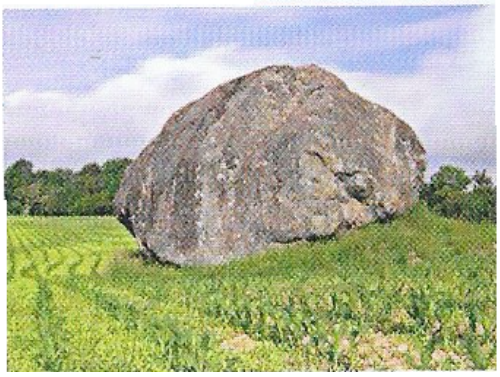
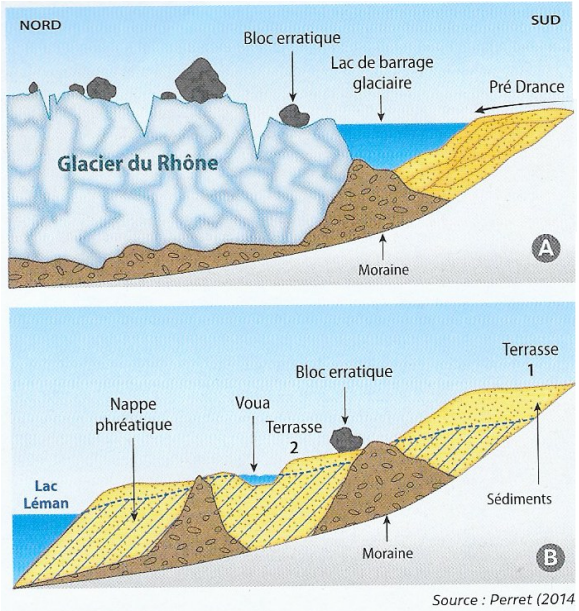


Schéma des conditions de dépôt d'un bloc erratique.
D'après SVT spécialité terminale Hachette Education 2020



A. -18 000 ans. B. Epoque actuelle.

Le glacier a fondu en plusieurs étapes en laissant des dépôts appelés moraines glaciaires et des blocs erratiques qu'il a transportés depuis des zones rocheuses du Valais en Suisse. Des sédiments se sont déposés dans les lacs formés par les eaux de fonte.

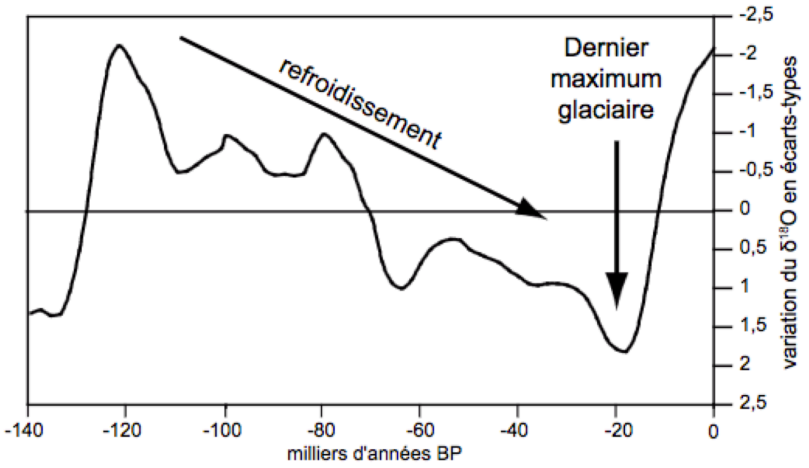
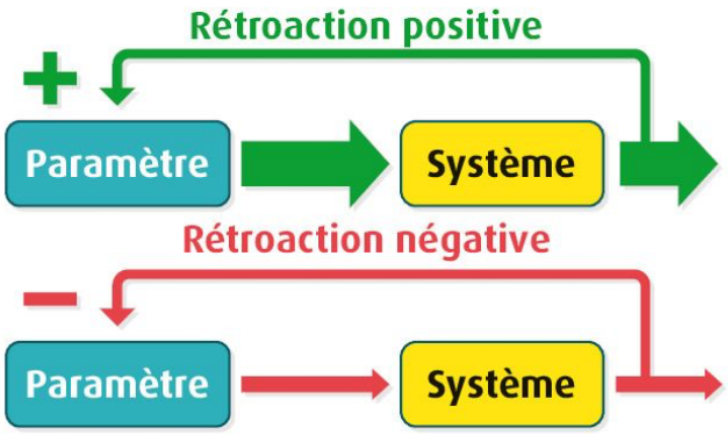
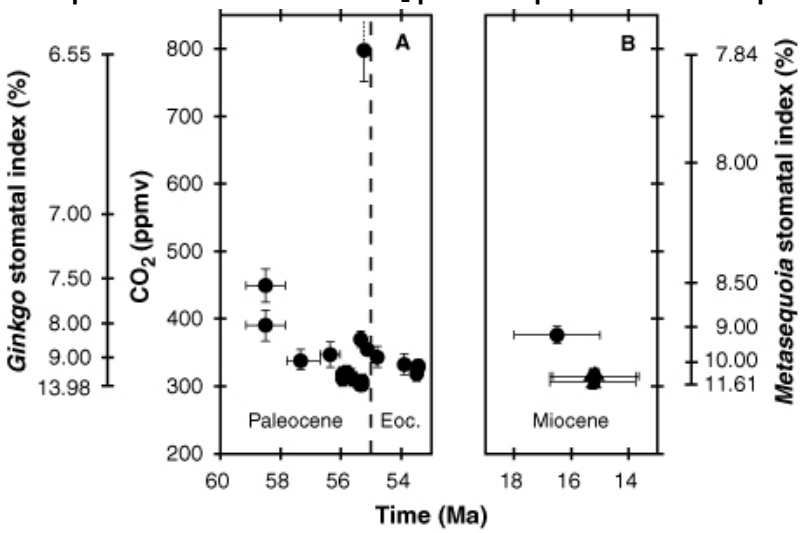


Figure 2. Le dernier cycle glaciaire.
Cette courbe des variations des isotopes de l'oxygène dans les coquilles de foraminifère marins donne une image des variations des quantités de glace stockées à la surface du globe pour le dernier cycle glaciaire. Après un brusque réchauffement, il y a à peu près 130 000 ans, correspondant à la fin de l'avant dernière glaciation, un refroidissement se produit qui culmine à il y a 18 000 ans en âge radiocarbone non corrigé (ce qui correspond à -21 000 ans en âge corrigé). Depuis, la température est remontée au niveau d'aujourd'hui.

Boucles de rétroaction positive et négative. D'après SVT spécialité terminale Belin 2020



Les paléoconcentrations de CO_2 pour une partie du Cénozoïque.



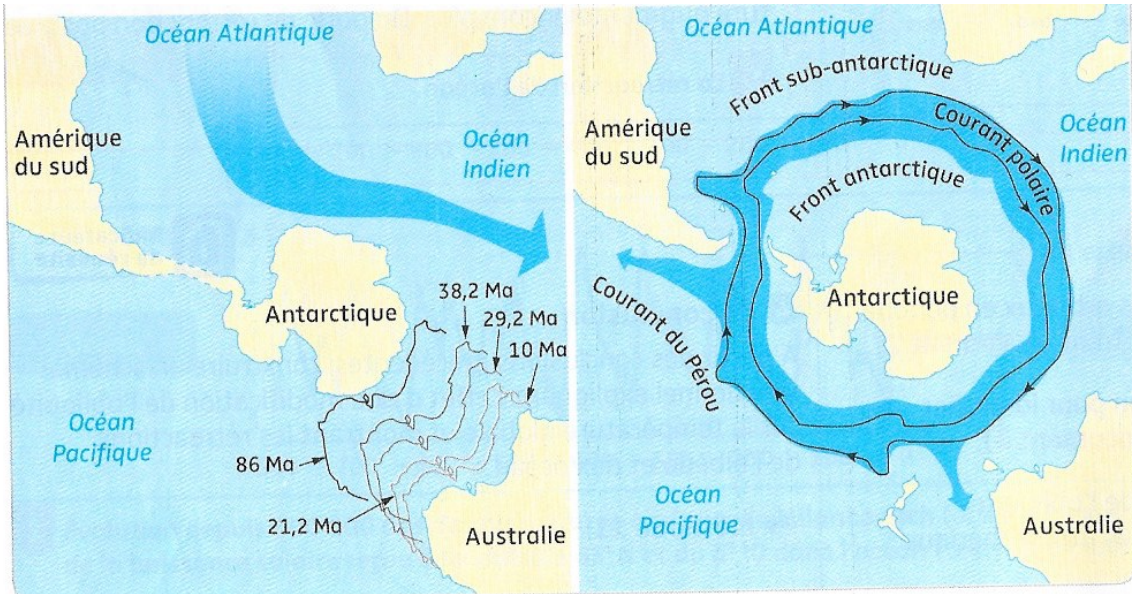
D'après Royer et al. (2001, Science, 292 : 2310-2313)

Position des continents à la fin du Crétacé (-65 Ma) et mise en place de la circulation océanique circumpolaire autour de l'Antarctique.

D'après SVT spécialité terminale Nathan 2020

Ce courant marin froid (eau à 1°C même lors de l'été austral) fonctionnel au Miocène a favorisé l'installation de la calotte glaciaire sur l'Antarctique. Les zones en bleu foncé correspondent à la circulation océanique.

Le courant circumpolaire mesure 24 000 km de long et 1000 km de large.



Altération des chaînes de montagnes et taux de CO_2 atmosphérique.

D'après SVT spécialité terminale Hachette Education 2020

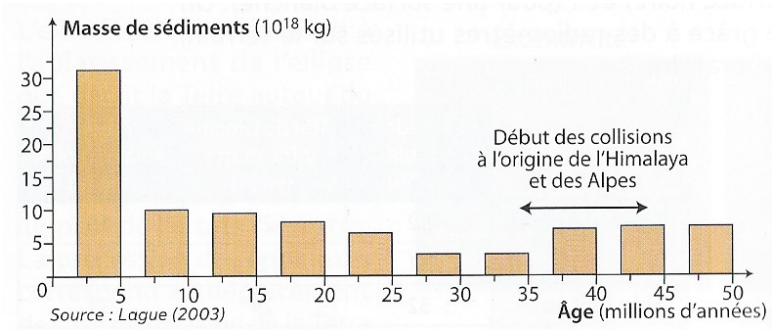


Diagramme en bâtons des masses de sédiments déposés au cours du temps dans les bassins sédimentaires.

Dès le début de sa formation, une chaîne de montagnes est soumise à l'érosion (= altération physique et chimique + transport des produits d'altération). Les produits d'altération sédimentent ensuite dans un bassin de sédimentation, où avec le temps, ils se transforment en roches sédimentaires.

Grâce à des études géologiques menées dans ces bassins, il est possible d'estimer le taux d'accumulation des sédiments au cours du temps.

Source : d'après Peizhen et al., 2001.

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

$2\ Al_2Si_2O_8Ca + 4\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow 2\ Ca^{2+} + 4\ HCO_3^- + Si_4O_{10}Al_4(OH)_8$

Plagioclase calcique — ions Ca^{2+} en solution — ions hydrogénocarbonate en solution — kaolinite (argile)

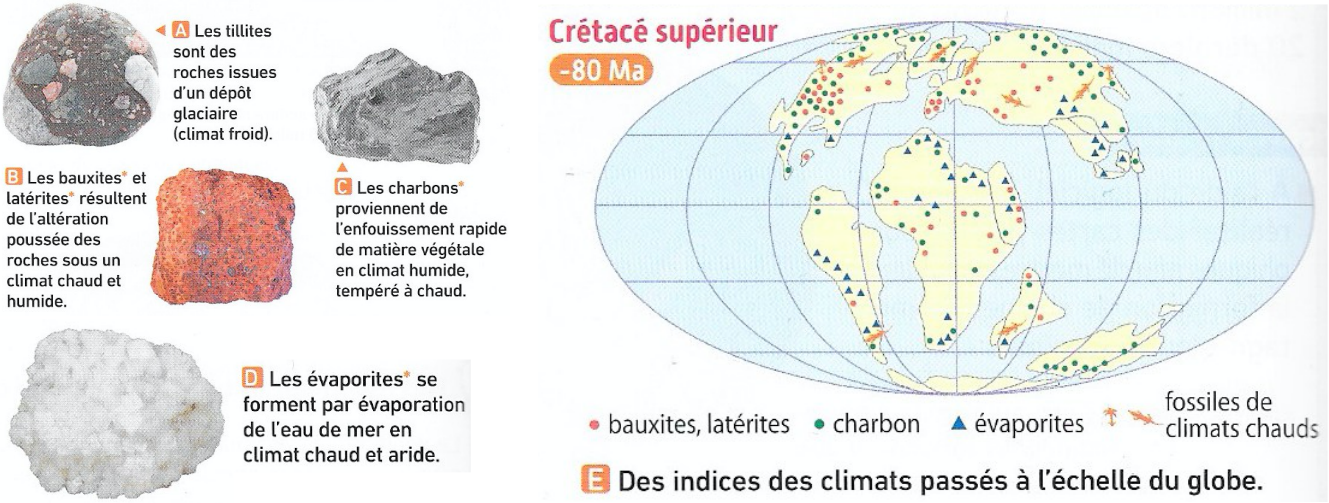
Les ions transportés vers des zones de sédimentation précipitent pour former du calcaire selon la réaction suivante :

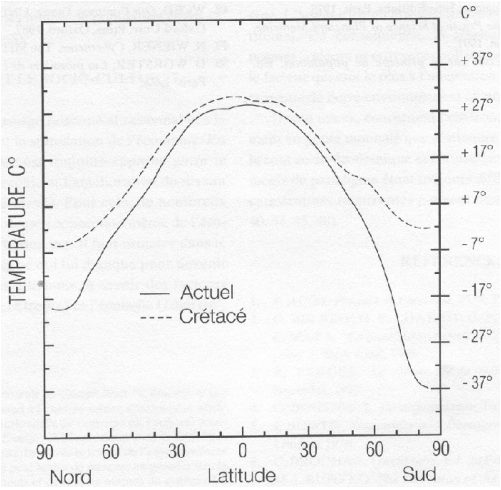
$Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$

Reconstituer des paléoceintures climatiques.

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

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 paléoceintures climatiques.





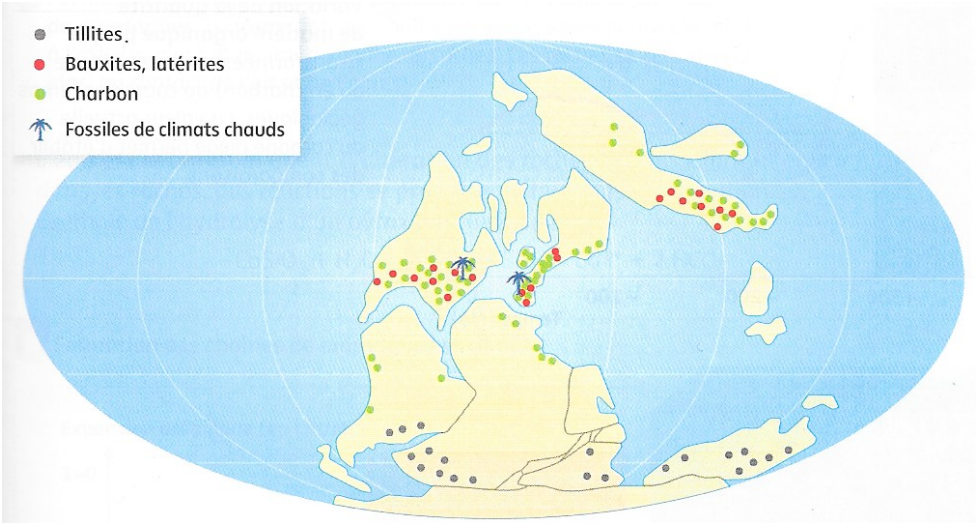
Estimation des températures sur le globe au Crétacé et actuellement.

http://www.unige.ch/sebes/textes/1994/94Greppin.html

La température moyenne estimée sur le globe au Crétacé est de +18°C.

Répartition de quelques roches et fossiles datés du Carbonifère.

D'après SVT spécialité terminale Nathan 2020

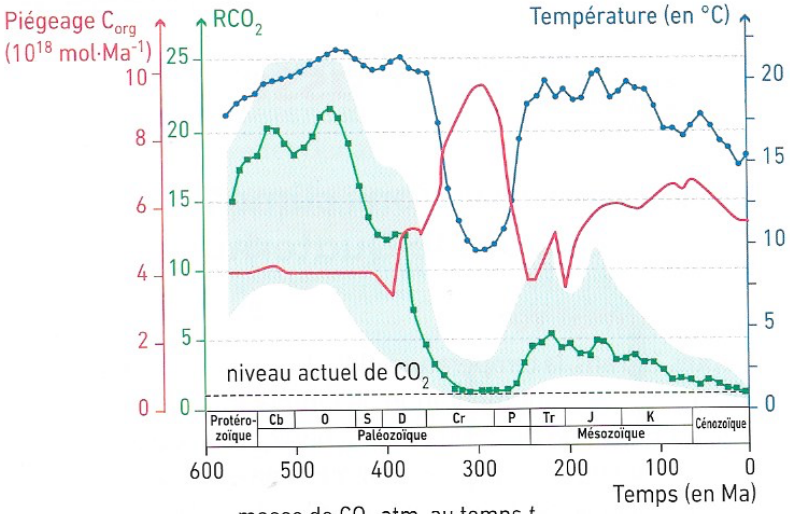


Température, CO_2 et piégeage du carbone organique.

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

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

En bleu : modèle de température fondé 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).



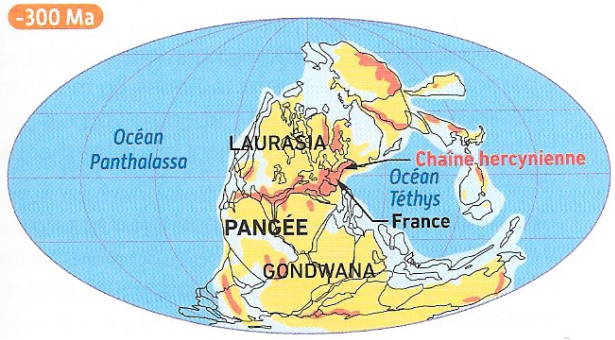
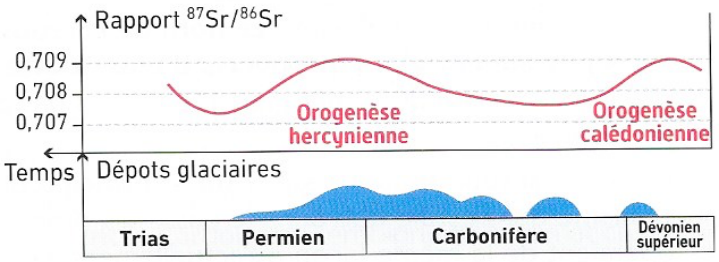
La paléogéographie du Carbonifère et du Permien.

D'après SVT spécialité terminale Bordas 2020

La fin du Paléozoïque 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 (varisque), 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, favorisant la formation d'une calotte glaciaire.
- 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 continent à cette époque n'étaient pas capables de décomposer la lignine. D'énormes 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.

Reconstitution paléogéographique de la fin du Carbonifère.



Extension des dépôts glaciaires et rapport isotopique du strontium à la fin du Paléozoïque.