

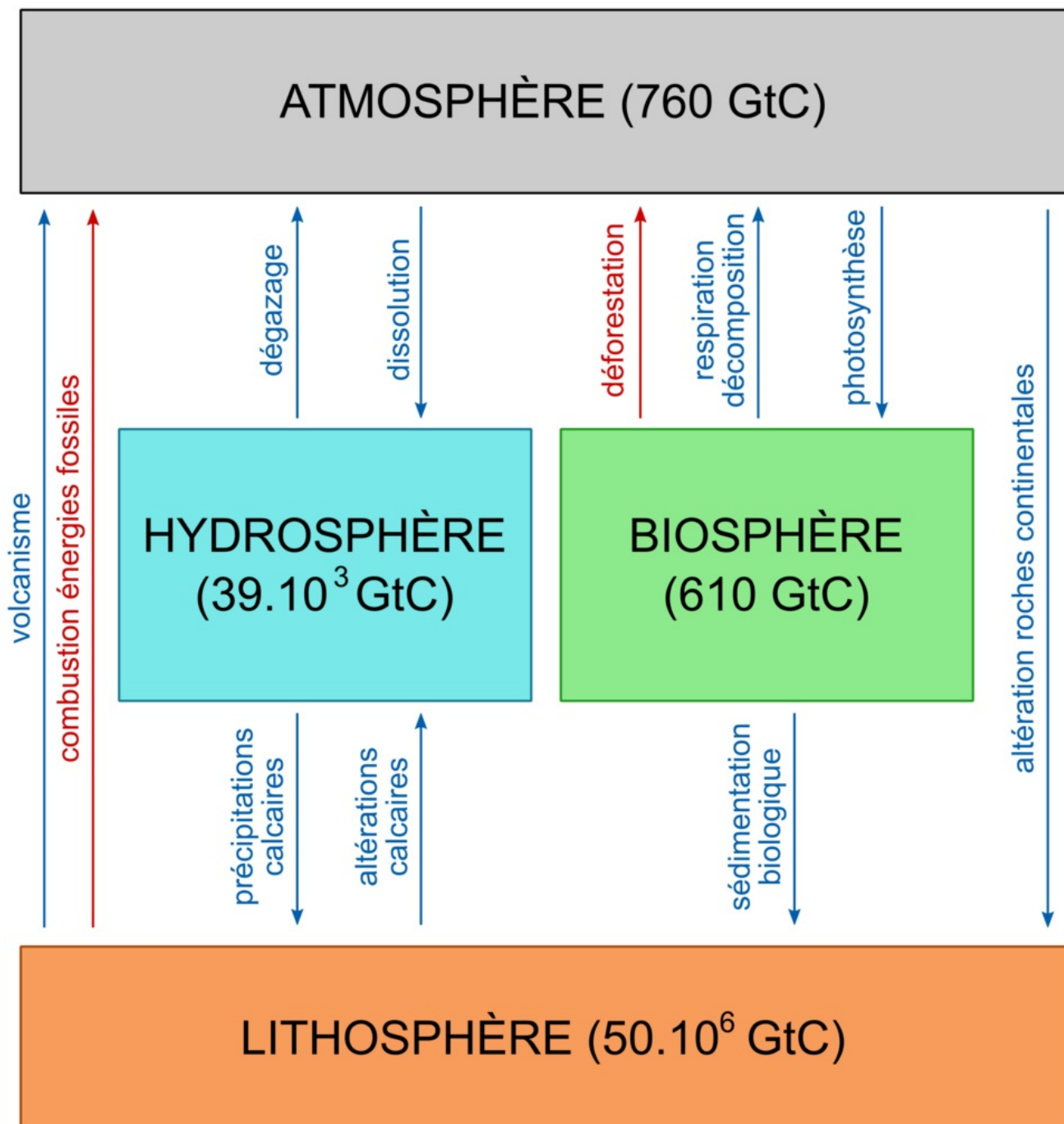
Fiche

Le système climatique terrestre est complexe et l'effet de serre y joue un rôle majeur. Celui-ci consiste en l'absorption par certains gaz atmosphériques du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, ce qui provoque une élévation de la température de la planète. L'intensité de l'effet de serre augmente avec la concentration atmosphérique de ces gaz. Depuis 150 ans, le climat planétaire présente un réchauffement d'environ 1 °C, dont les conséquences sont déjà observables. Quelles sont les variations climatiques passées ? Quels sont les enjeux actuels du réchauffement climatique ?

I. Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

En l'absence d'activités humaines productrices de gaz à effet de serre, la température terrestre moyenne de +15 °C résulte d'un effet de serre naturel, observable durant l'ère préindustrielle, avant 1870. Depuis 150 ans, les activités humaines (combustion d'énergie fossile, déforestation, fabrication de ciment, pratiques agricoles, etc.) perturbent le **cycle biogéochimique du carbone** par l'émission dans l'atmosphère de **gaz à effet de serre** (CO₂, CH₄, etc.), responsables d'une **augmentation de 1 °C** de la température terrestre.

Cycle biogéochimique simplifié du carbone (1 GTC : 109 tonnes de carbone) (en rouge : flux liés aux activités humaines)

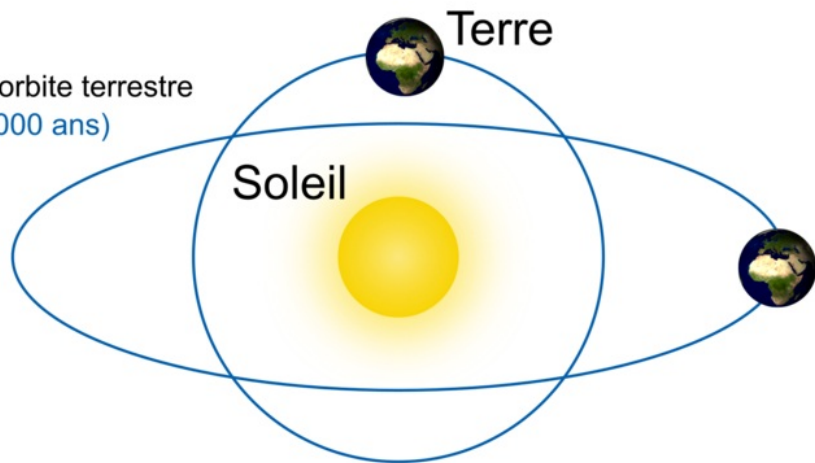


Les données préhistoriques, géologiques (études des moraines) et paléo-écologiques (palynologie et dendrologie, ou étude des cernes de croissance des troncs des arbres) montrent l'existence entre **-120 000 et -11 000 ans** de la dernière **glaciation**, appelée Würm en Europe. Les données géologiques et les mesures du $\delta^{18}\text{O}$ des glaces polaires et des sédiments (carbonates) mettent en évidence une **alternance de périodes glaciaires et interglaciaires** durant **les 800 000 dernières années**.

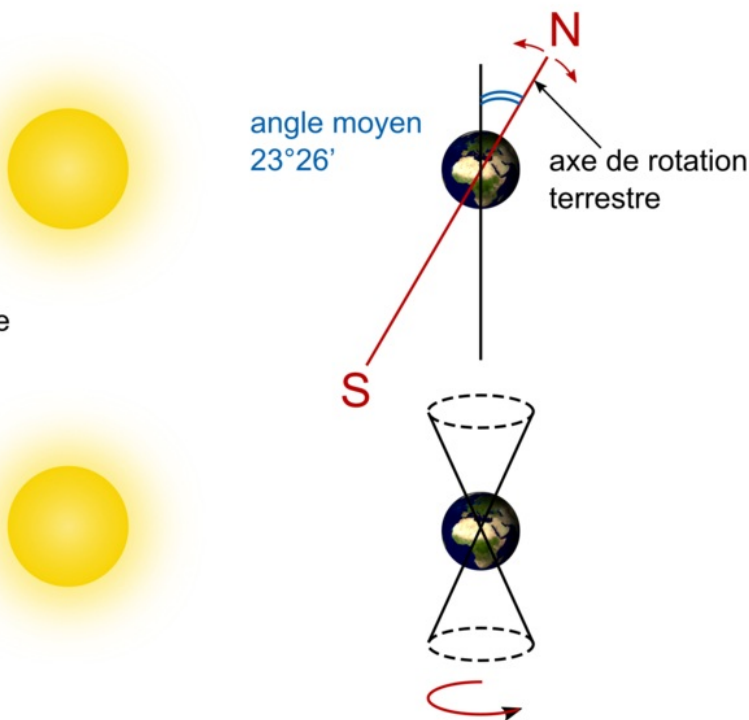
Ces **variations cycliques du climat sur les 800 000 dernières années** coïncident avec les variations périodiques des **paramètres orbitaux de la Terre** : variations de l'excentricité de l'orbite terrestre, de l'angle d'inclinaison de l'axe de rotation terrestre, et de la position des équinoxes sur l'orbite terrestre (précession des équinoxes). Elles ont modifié la puissance solaire, entraînant un **forçage radiatif positif ou négatif**, et ont été amplifiées par des **boucles de rétroaction**. Une première boucle concerne **l'albédo**, qui est la proportion d'énergie solaire réfléchi parmi l'énergie solaire reçue par une surface. Lors d'un refroidissement, l'extension des surfaces claires de glace ou neige, à fort albédo, entraîne une baisse de la puissance solaire absorbée par la Terre, ce qui accentue le refroidissement. Une seconde boucle est liée à **l'effet de serre**. La solubilité du CO_2 dans l'eau augmente quand la température baisse. Un refroidissement favorise donc sa dissolution dans l'eau, réduisant son taux atmosphérique, d'où une baisse de l'effet de serre qui accentue le refroidissement. Ces boucles de rétroaction sont à l'origine des **entrées et des sorties de glaciation** au Quaternaire.

Cycles de Milankovitch : variations cycliques des paramètres astronomiques à l'origine des variations climatiques

- ① variation de l'excentricité de l'orbite terrestre
(périodicité : 100 000 ans ; 413 000 ans)



- ② variation de l'obliquité de l'axe de rotation terrestre
(périodicité : 41 000 ans)



- ③ précession de l'axe de rotation terrestre
(périodicité : 23 000 ans ; 19 000 ans)

À l'échelle du **Cénozoïque** (qui a débuté il y a 65,5 millions d'années) et depuis 30 millions d'années, les études du $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates montrent une **baisse de la température** moyenne du globe. Ce refroidissement est expliqué par une baisse de la concentration atmosphérique en CO_2 , liée à l'**altération** des matériaux continentaux suite aux orogénèses himalayenne et alpine. En effet, l'altération des minéraux silicatés s'accompagne d'une consommation de CO_2 atmosphérique. De plus, les changements de la disposition de **masses continentales** résultant de la tectonique des plaques ont modifié la circulation océanique : l'individualisation de l'Antarctique a entraîné l'installation d'une importante calotte glaciaire au pôle Sud, encore présente actuellement.

Au **Mésozoïque** (-251 à -65 millions d'années), et notamment au **Crétacé**, des roches sédimentaires (évaaporites, bauxites, latérites, etc.) formées en climat chaud à de nombreuses latitudes mettent en évidence une **hausse de la température** terrestre. La **forte activité magmatique** des dorsales et des points chauds est responsable de l'augmentation du taux atmosphérique de CO_2 , d'où une température terrestre élevée, associée à l'absence de calottes polaires.

Au **Paléozoïque** (-542 à -251 millions d'années), des indices paléontologiques et géologiques révèlent une importante **glaciation au Permien-Carbonifère**. Le fort piégeage du CO_2 dans les **roches carbonées** (charbon, pétrole, etc.) et l'**altération** de la chaîne hercynienne ont réduit le taux atmosphérique de CO_2 , d'où une diminution de la température terrestre.

 Exercice n°1

 Exercice n°2

 Exercice n°3

 Exercice n°4

II. Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'action

Cette partie ne sera pas évaluée à l'épreuve écrite du baccalauréat.

Depuis plusieurs dizaines d'années, des efforts de **recherche scientifique** sont menés pour élaborer un **modèle robuste sur le changement climatique**, ses **causes** et ses **conséquences**, ainsi que pour définir les **actions** nécessaires. Depuis 1988, sous l'égide de l'ONU, le **GIEC** (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), élabore sur la base d'un **consensus scientifique** une analyse rigoureuse de l'**état des connaissances** destinée aux décideurs. Le réchauffement climatique est responsable d'une **augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes** (tempêtes, inondations, sécheresses, etc.). Il affecte la **biodiversité** en modifiant les caractéristiques des populations (effectifs, état sanitaire, répartition à la surface du globe) ainsi que leur évolution, et il a des impacts sur la santé humaine. L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ favorise la **production de biomasse**, mais ses effets indirects perturbent les **écosystèmes naturels et agricoles** (désertification, montée du niveau marin, diminution des ressources en eau et de la qualité des sols, diffusion de pathogènes, etc.). En 2015, la **COP 21** a engagé les pays signataires de l'accord à contenir le réchauffement climatique **en 2100 à 2 °C** de variation par rapport à la valeur moyenne de la température terrestre de l'époque préindustrielle (vers 1870). Avant cette date, le taux moyen de CO₂ atmosphérique était d'environ 280 ppm (partie par millions). Le taux moyen de CO₂ actuel avoisine 410 ppm. Le maintien d'un réchauffement inférieur à 2 °C en 2100 nécessite de limiter le taux moyen de CO₂ atmosphérique **à 500 ppm en 2100**, soit une baisse drastique des émissions de CO₂ atmosphérique, pour aboutir à des activités humaines globalement **neutres**.

Exercice n°5

Zoom sur...

Les méthodes isotopiques : Les méthodes isotopiques : les thermomètres δ¹⁸O de la glace et δ¹⁸O des carbonates

Le paramètre δ¹⁸O reflète le rapport isotopique ¹⁸O/¹⁶O de l'échantillon étudié. Le δ¹⁸O des glaces polaires évolue de manière linéaire en fonction de la température existant lors de la formation de la glace. Au niveau des glaces polaires, des forages permettent de récolter des carottes de glace, d'autant plus anciennes qu'elles sont profondes. Les estimations de la date de la formation de la glace et de la valeur du δ¹⁸O des échantillons permettent de déterminer l'évolution passée des températures. Un autre thermomètre, le δ¹⁸O des carbonates, est mis au point à partir des rapports isotopiques de l'oxygène présent dans les coquilles des foraminifères (unicellulaires marins) trouvées dans les sédiments océaniques. L'évolution du δ¹⁸O des carbonates est inversement proportionnelle à l'évolution de la température. Ainsi, les températures passées peuvent être reconstituées grâce au δ¹⁸O de la glace (jusqu'à -450 000 ans) et au δ¹⁸O des carbonates (jusqu'à -135 Ma).

La palynologie

Étude des pollens et des spores présents dans des sols et les roches. Les grains de pollen peuvent être conservés longtemps dans des sédiments continentaux, et leur morphologie est spécifique de leur espèce. L'évolution temporelle de l'abondance des pollens de différentes espèces dans des carottes de sédiments permet de déterminer les espèces végétales présentes. La connaissance des exigences climatiques de ces végétaux permet de déduire l'évolution du climat local au cours du temps.

Notions clés

Atténuation

Ensemble des actions visant à diminuer l'ampleur du réchauffement climatique. L'axe prioritaire est la limitation de la production de gaz à effet de serre, par une baisse de la consommation des énergies fossiles, le développement des énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la promotion de pratiques agricoles adaptées. L'autre axe est de favoriser la séquestration du CO₂, soit de manière naturelle, par une gestion adaptée des écosystèmes naturels et agricoles, soit de manière artificielle par le stockage de CO₂ industriel dans des réservoirs appropriés. Cette dernière technique, certes intéressante, est coûteuse, risquée et peu généralisable : elle ne constitue pour l'instant qu'un outil mineur de l'atténuation.

Adaptation

Démarche d'ajustement au changement climatique et à ses conséquences, afin d'anticiper les impacts sur les territoires et les sociétés. Il s'agit de se préparer à des aléas climatiques plus fréquents et plus intenses (sécheresses, canicules, tempêtes, etc.) et à leurs conséquences (incendies, coulées de boues, etc.). L'adaptation vise à anticiper les conséquences du réchauffement climatique sur l'environnement (augmentation du niveau marin, érosion littorale, etc.) et sur les activités humaines (diminution des ressources en eau, baisse de la productivité des systèmes agricoles, etc.). En France, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), créé en 2011 et réactualisé en 2018 pour 5 ans, vise à intégrer les adaptations nécessaires dans les politiques publiques.