

2.2.1 : Reconstituer et comprendre les variations climatiques :

(d'après Hachette, Ed. 2020, p.220-222 ; Bordas, Ed. 2020, p.310)

Les activités humaines ont entraîné une augmentation de la température moyenne globale de 1°C au cours des 150 dernières années, ayant des conséquences sur la météorologie, la biosphère, et l'humanité.

L'origine principale de ce réchauffement est la hausse du taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, pour deux raisons majeures :

- l'augmentation importante de la consommation de carburants fossiles au cours du XX^e siècle en raison de la révolution industrielle et l'augmentation de la population mondiale. La combustion libère de grandes quantités de CO₂.
- l'agriculture moderne est également responsable de 90 % de l'émission de N₂O, gaz à effet de serre issu des sols labourés.

Les gaz à effet de serre contribuent à augmenter la température globale, ce qui conduit à un phénomène appelé changement climatique. Il entraîne des bouleversements qui affectent déjà les écosystèmes, le cycle de l'eau et le cycle du carbone.

Si les émissions continuent à la vitesse actuelle, les différentes modélisations envisagent un réchauffement de 0,5 °C d'ici 2050.

L'étude des variations climatiques passées permet de comprendre le changement climatique actuel et de chercher des pistes d'actions.

Depuis 1850, la température globale a augmenté d'environ 1°C. Ce réchauffement climatique est lié à la perturbation du cycle biogéochimique du carbone par les émissions liées aux activités humaines de gaz à effet de serre tels que le CO₂. L'étude des climats passés est indispensable pour anticiper le changement climatique à venir.

I/ Les variations climatiques pendant le quaternaire (-2,6 Ma à aujourd'hui) : une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires :

Le Quaternaire (-2,6 Ma à aujourd'hui) est caractérisé par l'existence de cycles glaciaires et interglaciaires répétés depuis 800 000 ans.

Les plus anciennes mesures de température obtenues par des thermomètres sont très utiles mais ces données ne remontent qu'au XVII^e siècle (1658). En conséquence, les paléoclimatologues reconstituent le climat en se basant sur des archives naturelles qui enregistrent de manière indirecte les fluctuations climatiques. C'est le cas par exemple des carottes de glace, des sédiments marins ou des pollens piégés dans les sédiments.

1°) Les variations climatiques de -120 000 ans à -11 000 ans :

Différents indices préhistoriques, géologiques et paléoécologiques attestent de l'existence d'une alternance des périodes glaciaires et interglaciaires. L'étude des moraines déposées par les glaciers alpins a permis de reconstituer l'extension des glaciers, principalement dans les Alpes et les Pyrénées au cours de la dernière glaciation il y a 20 000 ans.

L'étude des associations de pollens récoltées par carottage en fonds de lacs ou de tourbières a permis de montrer que la sortie de la dernière période glaciaire et un réchauffement climatique se sont produits à l'Holocène, il y a 10 000 ans.

2°) Les variations de températures déduites de l'étude géochimique des isotopes :

Les mesures des rapports isotopiques de l'oxygène dans les glaces polaires antarctiques et dans les carbonates des fonds océaniques offrent un enregistrement continu sur les derniers 800 000 ans. Les rapports isotopiques de l'oxygène montrent des variations cycliques.

Le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces nous renseigne sur la température qu'il fait aux pôles: lorsque la température augmente, le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces augmente, et inversement. Le $\delta^{18}\text{O}$ des sédiments carbonatés nous donne également des indications sur le volume des glaces et les températures globales.

Durant les 800 000 dernières années, le climat de la Terre a connu alternativement des périodes très froides (périodes glaciaires) et des périodes plus chaudes (périodes interglaciaires). La dernière période glaciaire s'étend de -120 000 à -11 000 ans. Les variations climatiques locales sont mises en évidence par de nombreux indices géologiques et écologiques. L'utilisation de thermomètres isotopiques permet de reconstituer l'évolution de la température globale.

3°) Les facteurs à l'origine des variations climatiques :

Les mesures réalisées montrent que les cycles glaciaires et interglaciaires se sont produits tous les 100 000 ans. Les paramètres orbitaux terrestres décrits par Milankovitch suivent une périodicité similaire et expliquent en partie les variations climatiques. Cependant, les modèles montrent que les variations de l'énergie solaire reçue devaient entraîner des variations de température d'environ 0,5 à 1°C. Or, elles sont beaucoup plus fortes : des facteurs amplificateurs, comme la teneur en CO_2 atmosphérique et des modifications de l'albédo, exercent des rétroactions.

Quand la température augmente, le cycle du carbone et la solubilité de CO_2 dans les océans sont modifiés : le dioxyde de carbone est relâché dans l'atmosphère, ce qui augmente encore la température, et inversement.

Par ailleurs, un réchauffement provoque la fonte des glaces polaires, diminuant les surfaces à fort albédo. L'énergie réfléchie étant moindre, les masses continentales et océaniques se réchauffent, ce qui accélère d'autant plus la fonte glaciaire.

Les variations cycliques du climat durant le Quaternaire coïncident avec des variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre (cycles de Milankovitch qui modifient la puissance solaire reçue aux hautes latitudes). Des boucles de rétroaction positives et négatives sont à l'origine des entrées et sorties de glaciation.

II/ Les variations climatiques à l'échelle des temps géologiques :

1°) Des périodes de refroidissement au cours du Cénozoïque et du Paléozoïque :

Même s'il est difficile de remonter dans le temps avec précision, il apparaît clairement que le climat de la Terre a été bouleversé de nombreuses fois au cours des temps géologiques. La Terre a connu des périodes de glaciation très anciennes, jusqu'à parfois être entièrement recouverte de glace (« Snowball Earth »).

a) L'évolution générale du climat au cours du Cénozoïque (-66 Ma à -2,6 Ma) :

Des indices climatiques indiquant une tendance générale au refroidissement :

Les données issues de différents indicateurs datant du Cénozoïque, ceci dans différentes régions du globe, indiquent que le climat s'est peu à peu refroidi et notamment au cours des 30 derniers millions d'années:

- indices géochimiques: les paléothermomètres isotopiques comme le $\delta^{18}\text{O}$ des tests de foraminifères retrouvés dans les carottes de sédiments océaniques montrent que la température des océans a globalement baissé;
- apport des fossiles : les paléontologues et paléobotanistes ont pu reconstituer les aires de répartition d'espèces animales ou végétales à l'échelle du globe et ont constaté la diminution latitudinale des aires de répartition des espèces tropicales.
- indices géologiques: l'augmentation de l'étendue des glaciers à différentes latitudes a été reconstituée à partir des moraines glaciaires et de zones striées indiquant le passage de glaciers.

Facteurs à l'origine du refroidissement observé :

Au cours du Cénozoïque, la tectonique des plaques et les mouvements horizontaux de la lithosphère ont entraîné la formation de chaînes de montagnes, comme les Alpes et l'Himalaya. Les importantes masses rocheuses de ces chaînes de montagnes se sont alors retrouvées en contact avec l'atmosphère. L'altération de certains minéraux étant consommatrice de CO₂, la concentration atmosphérique de CO₂ a baissé. Par ailleurs, la variation de la position des continents a modifié la circulation océanique.

Depuis 30 Ma jusqu'au début du réchauffement que nous vivons actuellement, de nombreux indices montrent une tendance générale à la baisse de la température moyenne du globe et de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère. Ces baisses sont attribuées à l'altération chimique des roches dans les grandes chaînes de montagnes récentes comme l'Himalaya et au déplacement de continents dû à la tectonique des plaques. Cela modifie la circulation océanique, favorisant par exemple la formation d'une immense calotte au pôle Sud.

b) Une grande glaciation à la fin du Paléozoïque (-541 Ma à -252,2 Ma) :

Au Paléozoïque, des indices paléontologiques et géologiques révèlent l'existence d'une importante glaciation au cours de la période Carbonifère-Permien (environ -350 à -250 Ma). Ce refroidissement est dû à une forte diminution du taux de CO₂ atmosphérique.

Cette modification du cycle géochimique du carbone a deux origines:

- La fossilisation de la matière organique :

la matière organique végétale est issue de la photosynthèse au cours de laquelle le CO₂ atmosphérique est fixé en formant de la matière carbonée. Si une grande quantité de cette matière carbonée est enfouie et fossilisée (non décomposée), de grands gisements carbonés se forment, le CO₂ est ainsi piégé.

- L'altération des roches de la chaîne hercynienne a piégé le CO₂ atmosphérique.

Le climat au Carbonifère-Permien (Paléozoïque) est caractérisé au contraire par une glaciation de grande ampleur, comme en témoignent de nombreux indices géologiques et fossiles. Cette glaciation est liée à l'altération chimique des roches de la chaîne hercynienne et à une très importante fossilisation de matière organique, responsables d'une chute de la teneur en CO₂ de l'atmosphère et donc d'une diminution de l'effet de serre.

2°) Une période chaude dans l'histoire de la Terre : le Mésozoïque (-252,2 à - 65 Ma) :

a) Des indices climatiques indiquant un réchauffement important au Crétacé :

Au Mésozoïque, pendant le Crétacé, les indices climatiques ont révélé un réchauffement. Les données lithologiques (importante accumulation de roches calcaires, évaporites, bauxites...), les données paléontologiques et paléobotaniques (extension des flore et faune tropicales dont les coraux à de hautes latitudes) témoignent d'une hausse générale de température. D'autre part il semble qu'à cette époque particulièrement chaude, la Terre ne possédait plus aucune calotte polaire. On estime que la température moyenne était environ de 20 °C (alors qu'elle est de 15°C actuellement).

b) Facteurs à l'origine du réchauffement climatique au Crétacé :

Le Mésozoïque est une ère géologique au cours de laquelle la paléogéographie mondiale subit des changements importants. En effet, il se produit une phase intense d'expansion océanique conduisant à l'ouverture des océans et à la dislocation du mégacontinent appelé Pangée.

L'augmentation de l'activité des dorsales, liée à la géodynamique terrestre interne et entraînant un important dégazage de CO₂, semble principalement responsable des variations climatiques observées. Au Crétacé, le taux de CO₂ atmosphérique a atteint jusqu'à 5 fois la valeur actuelle.

De nombreux fossiles et indices géologiques attestent que le Crétacé, au Mésozoïque, était une période très chaude de l'histoire de la Terre. La forte activité des dorsales océaniques à cette période serait à l'origine d'une concentration élevée en CO₂ dans l'atmosphère et donc d'un fort effet de serre.

