

La formation de la calotte polaire antarctique

(voir les compléments d'informations après le corrigé)

Le climat global de la Terre oscille entre des périodes de refroidissement et de réchauffement. Il s'est refroidi à la transition entre l'Eocène et l'Oligocène il y a environ 34 Ma. On cherche à identifier les indices prouvant ce refroidissement et des facteurs susceptibles de l'expliquer.

D'après des indicateurs isotopiques donnés dans le **document 1**, le taux de CO₂ atmosphérique a diminué entre l'Eocène et l'Oligocène. Il était de l'ordre de 1 000 ppm il y a -40 Ma, et d'environ 300 ppm après -25 Ma. L'absence d'indicateurs isotopiques entre -40 et -25 Ma ne permet pas de situer précisément dans le temps la diminution du CO₂ dans l'atmosphère.

⇒ On peut déduire de cette première observation que la diminution du CO₂ atmosphérique a provoqué un refroidissement du climat à partir de l'Oligocène. On sait en effet que le CO₂ est un gaz à effet de serre : il absorbe les rayons infra-rouges (IR) émis par la Terre et donc une certaine quantité d'énergie. Cette énergie piégée dans l'atmosphère contribue au réchauffement. Si la proportion de CO₂ atmosphérique diminue, l'absorption des IR est moins importante ce qui entraîne un refroidissement de l'atmosphère et donc du climat.

Le **document 2** montre que la transition Eocène - Oligocène coïncide avec une variation de la valeur d'un indice isotopique : le $\delta^{18}\text{O}$ dans les carbonates des squelettes de foraminifères. Or, cet indice témoigne du volume de glaces continentales : un indice élevé témoigne d'un volume de glace important (et donc un climat très froid).

On constate que $\delta^{18}\text{O}$ passe de 1,5 pour mille à 3,5 pour mille lors de la transition Eocène - Oligocène et reste constant durant toute cette période. Cet indice isotopique a donc augmenté.

⇒ On peut en déduire qu'il y a eu formation d'une calotte glaciaire à partir de l'Oligocène.

D'après le **document 3**, vers -45Ma, les circulations océaniques dans la région du pôle Sud se sont modifiées du fait de l'ouverture de deux passages entre l'Antarctique et l'Amérique du Sud d'une part (passage de Drake), et entre l'Antarctique et l'Australie d'autre part (passage de Tasmanie). Ces passages, actuellement empruntés par un courant circumpolaire froid, empêchent les eaux froides de ce courant de se mélanger avec des eaux plus chaudes. Ce phénomène contribue à l'isolement thermique de l'Antarctique.

⇒ On peut en déduire que l'ouverture des deux passages contribue au renforcement d'un climat froid sur le continent Antarctique.

Le **document 4** donne les résultats de simulations du volume des glaces antarctiques, sur une période de 10 Ma. La configuration paléogéographique est fixée à celle qui existait il y a 34 Ma. Les simulations reproduisent la diminution du taux de CO₂ constatée au **document 1** :

ce taux de CO₂ diminue de 1 000 ppm à 500 ppm, de façon progressive sur les 10 Ma et on estime le volume de glace formée selon deux scénarios : passage de Drake ouvert ou fermé.

Si le passage de Drake est ouvert, le volume de glace augmente de 2.10⁶km³ à 20.10⁶km³ lorsque le taux de CO₂ est de 800 à 700 ppm. Cette augmentation commence vers 5 Ma.

Par contre, si le passage de Drake est fermé, le volume de glace augmente lorsque le taux de CO₂ chute à 600 ppm et vers 8 Ma, soit 3 Ma plus tard que si le Drake est ouvert.

- ⇒ On peut en déduire de cette comparaison que la diminution du taux de CO₂ atmosphérique imposée dans les simulations suffit à rendre compte de la formation de la calotte glaciaire antarctique, cas de la simulation avec Drake fermé. Mais cette formation intervient plus tôt si le passage de Drake est ouvert: il y a près de 3 millions d'années de décalage entre la formation de la calotte antarctique avec et sans circulation océanique au niveau du passage de Drake.

Un autre phénomène intervient dans le renforcement du refroidissement de l'Antarctique. En effet, d'après le document 5, le pourcentage d'énergie réfléchi R par une surface par rapport à la quantité d'énergie incidente reçue I dépend de la nature de cette surface. Ce rapport (R/I) correspond à l'albédo. Des mesures montrent un albédo plus faible, 35%, pour des surfaces continentales sans calotte glaciaire contre un albédo de 90% pour des surfaces continentales englacées.

- ⇒ On peut en déduire que l'englacement progressif du continent antarctique s'est accéléré du fait d'une augmentation progressive de son albédo : le continent s'est refroidi d'autant plus, favorisant une chute des températures.

Synthèse :

Différents indicateurs permettent de reconstituer un changement climatique lors de la transition Eocène-Oligocène : le taux de CO₂ diminue (doc.1) et le volume de glace sur le continent antarctique augmente (doc.3). La baisse du taux de CO₂ engendre donc un refroidissement responsable de la formation de la calotte polaire antarctique.

Cependant, un autre facteur intervient : l'ouverture des passages de Drake et de Tasmanie modifie la circulation océanique autour du continent antarctique en générant un courant circumpolaire très froid qui isole le continent antarctique de toute influence océanique chaude (doc.2). Les simulations numériques (doc. 4) montrent que le refroidissement il y a 34 Ma peut s'expliquer par une diminution du taux de CO₂ atmosphérique, associée à une modification des circulations océaniques.

Cependant, les simulations suggèrent que l'ouverture du passage de Drake n'était pas une condition nécessaire à la formation de la calotte antarctique il y a 34 Ma : la diminution du taux de CO₂ atmosphérique était suffisante. Mais l'ouverture du passage de Drake a probablement permis une formation plus précoce de la calotte lorsque le taux de CO₂ atmosphérique était encore assez élevé. A ce phénomène s'ajoute un facteur d'amplification du refroidissement : l'augmentation de l'albédo génère un refroidissement supplémentaire (doc.5).

- ⇒ (bonus : explication de la diminution du taux de CO₂ : refroidissement = augmentation de la solubilité du CO₂ dans les océans = puits de CO₂ => diminution CO₂ dans l'atmosphère).

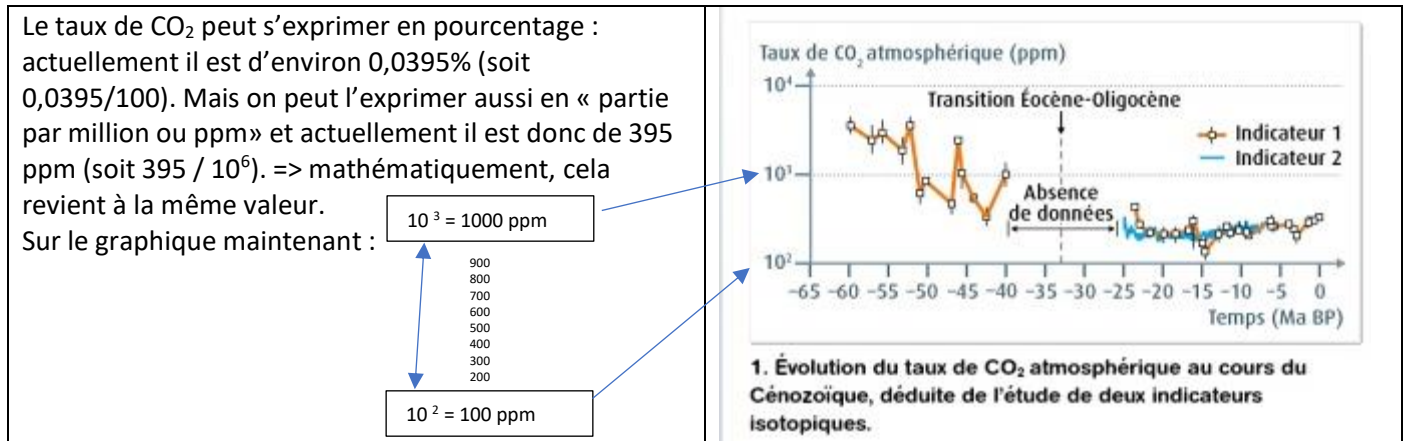
Complément d'informations :

1) Gaz à effet de serre :

Vidéo pour vous aider à mieux comprendre effet de serre et albédo (retenir que la Terre est un corps chaud et tout corps chaud émet un rayonnement infra-rouge).

https://www.youtube.com/watch?time_continue=8&v=dtAX_gotGIQ

2) A propos de l'ordonnée du graphique du doc.1.



- 3) Sur ce graphique, le temps est indiqué en Ma (donc millions d'années) BP. Or, BP signifie « before present ». Mais comme le présent se transforme en « futur » il est difficile d'avoir une origine avec T = 0 ! Arbitrairement, un consortium de scientifiques a fixé le présent à l'année 1950 ! Donc en fait T = 0 est en fait 1950...
- 4) Ne pas confondre cause et conséquence en particulier avec le $\delta^{18}\text{O}$. Ce dernier n'est qu'un indicateur de climat. Celui-ci est mesuré ici dans les squelettes calcaires de petits organismes marins, les foraminifères. Par conséquent, la variation du $\delta^{18}\text{O}$ n'est pas une cause du refroidissement ou d'un réchauffement, mais une conséquence.
- 5) Certains-es d'entre vous sont allés plus loin dans les mécanismes. Un point intéressant soulevé a été celui de l'amplification du refroidissement : rappelez-vous que le climat dépend aussi des échanges entre l'atmosphère et l'hydrosphère et en particulier avec l'océan. Si une baisse du taux de CO₂ engendre un refroidissement, la température des océans diminue (avec un délai évidemment). Mais si la température des eaux de surface diminue, la solubilité du CO₂ dans l'eau augmente : l'océan devient alors un puits à CO₂ => davantage de CO₂ passe en solution de l'eau => ce qui amplifie la chute du taux de CO₂ atmosphérique => ce qui amplifie le refroidissement.