Climats du passé en terminale

Fiche de cours · Archives climatiques et thermomètre isotopique

Les âges. Un âge de 20 ka correspond à 20 000 ans avant le présent. Un âge de 8 ka est plus récent. 1 Ma = 1 million d'années.

Quel signal mesure-t-on dans chaque archive ?

Archive	Indice mesuré	Ce que l'indice renseigne
Carotte de glace	$\delta^{18}O$ de l'eau de la glace	Évolution des conditions de température au site polaire
Bulles d'air dans la glace	Concentration de CO_2 en ppm	Composition de l'atmosphère passée
Sédiments lacustres	Proportion de grains de pollen par groupe	Évolution de la végétation régionale
Sédiments océaniques	$\delta^{18}O$ des tests calcaires de foraminifères	Température de l'eau et volume des glaces continentales
Traces glaciaires	Position et âge de moraines ou dépôts glaciaires	Ancienne extension d'un glacier

Comparer les $\delta^{18}O$ lors d'une phase froide

Le $\delta^{18}O$ exprime en pour mille l'écart relatif du rapport $^{18}O/^{16}O$ par rapport à un étalon. Une valeur de −43 ‰ est plus basse qu'une valeur de −38 ‰.



Phase froide · Chaque signal s'interprète dans son propre matériau

Deux signaux possibles pendant une phase froide, par comparaison avec une phase plus chaude.

Limite. Le $\delta^{18}O$ des carbonates marins dépend de la température de l'eau et de sa composition isotopique, elle-même influencée par le volume des calottes.

Du Quaternaire au temps long

Fiche de cours · Comparer et expliquer les évolutions du climat

Quatre repères pour expliquer les variations

Le Quaternaire. Des phases glaciaires et interglaciaires se succèdent. Le dernier maximum glaciaire se situe vers 20 000 ans avant le présent. L'Holocène débute vers 11 700 ans avant le présent.

Les cycles de Milankovitch. L'excentricité, l'obliquité et la précession modifient la répartition saisonnière et géographique de l'énergie solaire. Des étés moins ensoleillés aux hautes latitudes favorisent la persistance de la neige.

Les rétroactions. Une extension des glaces augmente l'albédo, diminue l'énergie absorbée et favorise le refroidissement. Les échanges de CO_2 avec l'océan et la biosphère modifient aussi l'effet de serre.

Le temps long. Les archives marines indiquent un refroidissement au Cénozoïque. Le dégazage volcanique apporte du CO_2. L'altération des silicates, suivie d'un enfouissement de carbonates, en retire. Reliefs, climat et circulation océanique influencent l'évolution à long terme.

Méthode pour étudier des documents

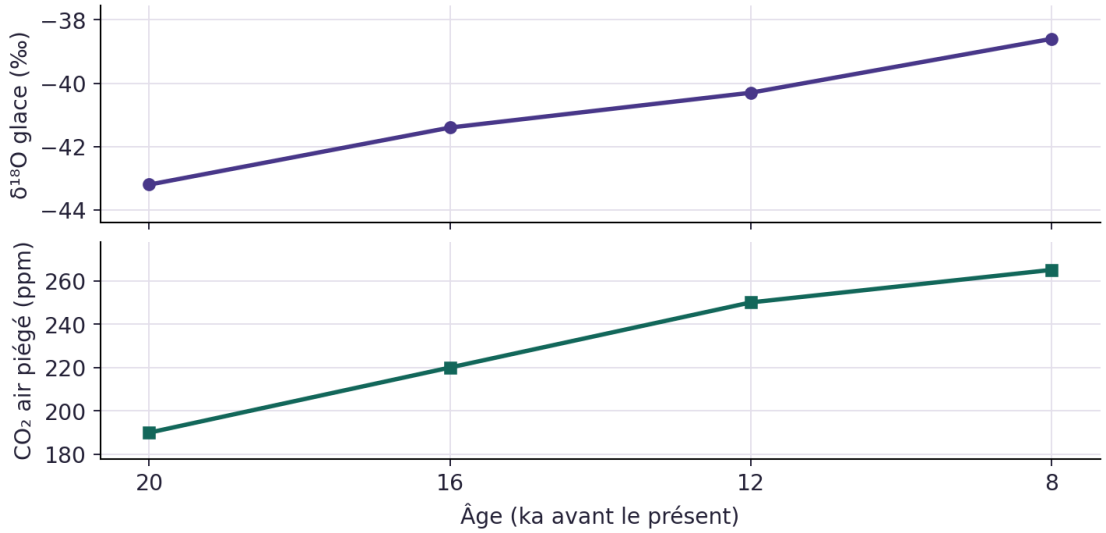
1. **Lire les axes et les unités.** Repère la date, le matériau et la grandeur. Si l'axe indique un âge avant le présent, la valeur d'âge la plus élevée est la plus ancienne. Écris l'ordre des deux dates avant de calculer une variation.
2. **Chiffrer l'observation.** Présente deux valeurs avec leurs unités. Par exemple, dans une carotte de glace, le $\delta^{18}O$ passe de $-43{,}2$ à $-38{,}6$ ‰ entre 20 et 8 ka. La variation vaut $+4{,}6$ ‰. Cette observation décrit d'abord un changement de composition isotopique.
3. **Relier la mesure au mécanisme adapté.** Explique pourquoi le signal peut changer. Dans une glace polaire, des valeurs moins négatives sont compatibles avec un réchauffement si la calibration du site le permet. Dans un sédiment marin, discute aussi l'effet de la masse de glace continentale sur la composition de l'eau.
4. **Croiser les indices et préciser la portée de la conclusion.** Compare les indices datés sur un même intervalle. Donne une limite concrète, par exemple la représentativité locale des pollens ou le double effet du volume des glaces et de la température sur le $\delta^{18}O$ marin. Deux variables qui évoluent ensemble donnent une relation à expliquer. Des mesures et des modèles complémentaires servent ensuite à identifier les causes.

Une carotte glaciaire

Étude 1 · Lire le $\delta^{18}O$ de la glace et le CO_2 piégé

Une carotte antarctique fictive fournit quatre mesures de $\delta^{18}O$ dans la glace et quatre mesures de CO_2 dans l'air piégé. Les séries ont été placées sur un axe d'âge commun à partir de leurs chronologies respectives. Lis les points du plus ancien au plus récent, de 20 à 8 ka.

Document 1 · Analyse de la glace et de l'air piégé



Les âges décroissent de gauche à droite, du point le plus ancien au plus récent. Données simulées.

Âge (ka)	$\delta^{18}O$ glace (‰ VSMOW)	CO_2 air piégé (ppm)
20	−43,2	190
16	−41,4	220
12	−40,3	250
8	−38,6	265

Questions

1. Identifie la date la plus ancienne et calcule les variations de $\delta^{18}O$ et de CO_2 entre le premier et le dernier point.

2. Dans le cadre d'une relation locale entre le $\delta^{18}O$ de la glace et la température, quelle évolution climatique est compatible avec ces données ?

3. Explique pourquoi la glace et les bulles d'air d'un même niveau peuvent avoir des âges différents.

4. Que permettent de dire les deux séries sur la relation entre le CO_2 et le réchauffement ? Quelle information supplémentaire aiderait à expliquer le rôle du CO_2 ?

Pollens et carbonates marins

Étude 2 · Croiser deux archives du climat

Pour trois âges, on compte 200 grains de pollen dans les sédiments d'un lac européen fictif. Une seconde carotte, prélevée au large dans l'Atlantique Nord, donne le $\delta^{18}O$ des tests de foraminifères benthiques pour les mêmes âges estimés.

Document 2A · Grains de pollen reconnus au microscope

Nombre de grains par groupe. Total de 200 grains par niveau. Données simulées.

Âge (ka)	Herbacées	Pin	Chêne et noisetier
18	148	40	12
14	95	54	51
10	36	48	116

Document 2B · Signal des carbonates marins

$\delta^{18}O$ de tests de foraminifères benthiques. Données simulées.

Âge (ka)	$\delta^{18}O$ des tests calcaires (‰ VPDB)
18	4,9
14	4,5
10	3,6

Questions

1. Calcule la proportion de grains de chêne et de noisetier à 18 et 10 ka, puis l'écart en points de pourcentage.
2. Quelle évolution de la végétation locale est compatible avec les comptages ? Donne un facteur qui peut influencer les proportions de pollens capturés.
3. Calcule la variation du $\delta^{18}O$ des foraminifères entre 18 et 10 ka. Donne les deux mécanismes qui peuvent expliquer cette évolution.
4. Propose une conclusion sur l'intervalle 18 à 10 ka en utilisant les deux documents et précise ce que le signal marin permet d'établir à lui seul.

Calculs et indices à citer

CO_2, relief et altération

Étude 3 · Exploiter un modèle sur le temps long

Un modèle simplifié compare l'effet du relief et des précipitations sur le cycle du carbone. Le dégazage volcanique apporte du carbone au réservoir formé par l'atmosphère et l'océan. L'altération des silicates, suivie d'un enfouissement de carbonates, peut en retirer. Dans le modèle, une fraction constante du carbone du réservoir se trouve sous forme de CO_2 dans l'air. À l'instant étudié, on garde identiques les autres flux et leur bilan est nul.

Document 3 · Scénarios d'un modèle géologique

Flux en unités de carbone par intervalle de temps identique. Données simulées.

Scénario	Relief	Climat	Dégazage	Prélèvement net
A	Bas	Humide	9	9
B	Élevé	Humide	9	12
C	Élevé	Sec	9	7

Questions

1. Calcule le bilan de carbone pour A, B et C. Indique l'évolution attendue du CO_2 atmosphérique si les flux restent comparables.

2. Quelles conditions faut-il comparer pour isoler l'effet du relief ? Quelles conditions isolent celui du climat humide ou sec ?

3. Dans le scénario B, le dégazage passe de 9 à 14 unités et le prélèvement reste à 12. Calcule le nouveau bilan. Explique le changement de tendance.

4. Relie le scénario B à un mécanisme de refroidissement à long terme. Donne deux types d'indices qui aideraient à vérifier cette hypothèse pour le Cénozoïque.

Calculs et indices à citer

Corrigé de l’étude 1

Une carotte glaciaire et les gaz piégés

1. Replacer les dates et calculer les écarts

20 ka est l’âge le plus ancien. Le $\delta^{18}O$ passe de −43,2 à −38,6 ‰. L’écart vaut (−38,6) − (−43,2) = +4,6 ‰. Dans le même intervalle, la teneur en CO_2 augmente de 190 à 265 ppm, soit +75 ppm.

2. Interpréter l’enrichissement relatif de la glace

Le $\delta^{18}O$ devient moins négatif. Dans cette archive polaire fictive, cela indique des conditions compatibles avec un réchauffement au site entre 20 et 8 ka. Le passage en degrés Celsius demanderait une calibration reliant les valeurs de $\delta^{18}O$ à la température dans les conditions étudiées.

3. Distinguer l’âge de la neige et celui de l’air

La neige qui vient de se déposer reste poreuse. L’air y circule jusqu’à la fermeture progressive des pores lors de sa transformation en glace. À une même profondeur, l’âge estimé de l’air peut donc être plus récent que l’âge de la glace. L’alignement des chronologies est nécessaire pour discuter de l’ordre des variations.

4. Décrire une coévolution et proposer une preuve complémentaire

Aux dates étudiées, le CO_2 augmente pendant un réchauffement déduit du $\delta^{18}O$. Comme le CO_2 renforce l’effet de serre, cette augmentation peut contribuer au réchauffement. Les quatre points établissent une coévolution. Une série plus fine datée et des simulations qui font varier le CO_2 à conditions comparables aideraient à préciser sa contribution et le rôle des autres facteurs.

À retenir. Explique l’indice avant de conclure. +4,6 ‰ est un écart de composition isotopique.

Corrigé de l’étude 2

Des pollens et des foraminifères pour recouper les indices

1. La part des grains de chêne et noisetier augmente de 52 points

À 18 ka, (12 ÷ 200) × 100 = 6 %. À 10 ka, (116 ÷ 200) × 100 = 58 %. L’écart est de 58 − 6 = 52 points de pourcentage. Ces pourcentages décrivent les grains comptés.

2. Les indices suggèrent une végétation plus boisée

Les grains d’herbacées passent de 148 à 36 sur 200, tandis que la part du chêne et du noisetier augmente fortement. L’ensemble est compatible avec une progression des boisements tempérés autour du lac. Le vent peut transporter les grains sur de longues distances, notamment ceux du pin. Les différences de production de pollen entre plantes peuvent aussi modifier les proportions mesurées.

3. Le $\delta^{18}O$ marin baisse de 1,3 ‰

La variation vaut 3,6 − 4,9 = −1,3 ‰. Une diminution du volume de glace continentale favorise le retour d’eau relativement riche en ^{16}O vers l’océan. Une eau plus chaude peut aussi abaisser le $\delta^{18}O$ des tests calcaires. Les deux mécanismes sont compatibles avec une baisse de la valeur mesurée.

4. Les deux archives convergent vers une déglaciation

Entre 18 et 10 ka, les pollens sont compatibles avec le développement d’une végétation plus boisée et tempérée. La baisse du $\delta^{18}O$ des foraminifères est compatible avec un réchauffement de l’eau, une réduction des calottes ou l’effet combiné de ces deux changements. Les deux indices convergent vers un réchauffement au cours de la déglaciation. Pour distinguer la contribution de la température de celle du volume des calottes, il faudrait une mesure indépendante de l’un de ces deux paramètres.

À retenir. Une proportion de pollen décrit l’échantillon. Une mesure isotopique marine combine plusieurs effets. Ensemble, ces indices éclairent des aspects complémentaires du climat.

Corrigé de l’étude 3

Un modèle du CO_2 et de l’altération des roches

1. Le signe du bilan suit les entrées et sorties de carbone

Le bilan vaut dégazage moins prélèvement. Dans A, $9 - 9 = 0$. Dans B, $9 - 12 = -3$. Dans C, $9 - 7 = +2$. À flux comparables, le stock reste stable dans A, baisse dans B et augmente dans C. Avec la répartition fixée par le modèle, le CO_2 atmosphérique suit la même tendance.

2. Comparer les scénarios qui ne diffèrent que par un facteur

A et B ont le même climat humide et diffèrent par le relief. Le prélèvement passe de 9 à 12. B et C ont le même relief élevé et diffèrent par les conditions humides ou sèches. Le prélèvement passe de 12 à 7. L’effet du relief observé en climat humide dépend du contexte dans lequel l’altération se produit.

3. Un dégazage accru peut inverser le bilan

Si B passe à 14 unités de dégazage pour 12 unités retirées, le bilan vaut $14 - 12 = +2$. L’apport excède alors le prélèvement. Les flux doivent être comparés dans leur ensemble pour connaître le sens de variation du stock.

4. Expliquer la tendance et rechercher des indices indépendants

Dans B, l’altération et l’enfouissement l’emportent sur l’apport du dégazage. Si cette situation dure, le CO_2 atmosphérique baisse dans le modèle, ce qui réduit l’effet de serre et peut contribuer à un refroidissement. Pour examiner ce mécanisme dans le Cénozoïque, il faudrait rapprocher des reconstitutions du CO_2 et de la température des indices datés de la formation des reliefs et de l’altération continentale.

À retenir. Un modèle teste les conséquences d’un mécanisme sous des hypothèses précises. Les archives permettent ensuite de le confronter à l’histoire réelle.