

## I. En milieu continental

### A. Les périodes glaciaires du quaternaire enregistrées dans la géologie des Alpes

#### 1. Les traces qui témoignent de la présence d'anciens glaciers

Planche 5 (Climats du Passé, Jeulin) et fiche « chronologie du Quaternaire »

Les glaciers actuels sont représentés par les inlandsis, calottes glaciaires épaisses de plusieurs kilomètres, localisés dans les régions polaires, et les glaciers de vallées présents dans les hautes montagnes (Alpes, Himalaya...). Quelles traces, un glacier laisse-t-il sur le terrain ?

**Aide à l'exploitation des documents suivants.**

- Extraire de ces documents des arguments permettant d'affirmer que le glacier est un puissant agent d'érosion, de transport et de sédimentation.
- À l'aide des connaissances, notamment celles acquises en Géographie, dégager les différences entre vallées et sédiments d'origine fluviale, et vallées et sédiments d'origine glaciaire.
- Quelle information apportent les cheminées de fée (photo G) et la présence du bloc erratique (photo F) ?

##### a) Les glaciers sont des agents de transport et des agents d'érosion.

Un glacier de vallée, de type alpin (photographie A et schéma d'interprétation), comprend typiquement :

- un cirque d'alimentation (1), sorte de cuvette en haute montagne où la neige s'accumule et se transforme en glace ;
- une langue glaciaire (2) s'écoulant lentement vers la vallée, à des vitesses variables, fonction de la pente et de la largeur du passage (photographie B).

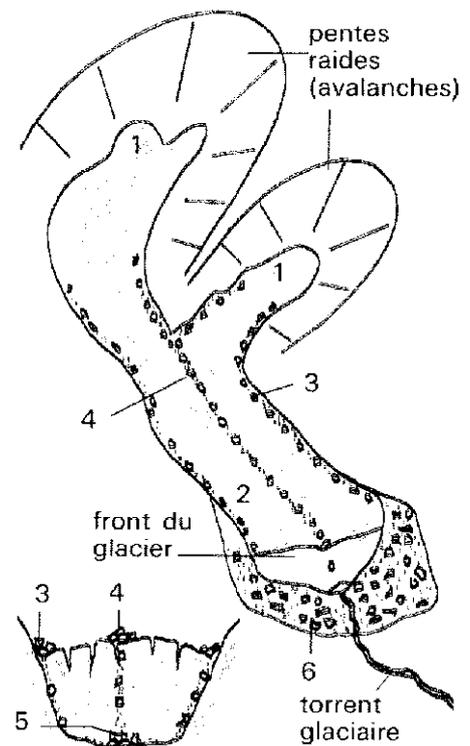
Les matériaux de toute taille tombant sur le glacier ou provenant du rabotage de la montagne constituent les moraines qui, suivant leur position, sont qualifiées de :

- latérales (3), de part et d'autre de la langue glaciaire,
- médianes (4) résultant de la confluence des moraines latérales de deux langues glaciaires,
- de fond (5), matériaux entraînés sous la langue glaciaire,
- frontale (6) qui rassemble les matériaux abandonnés, par la fonte, à l'avant de la langue glaciaire et qui forme un relief caractéristique en travers de la vallée, bien visible lorsque le glacier recule.

Après le retrait du glacier, la vallée présente un profil transversal en auge (photographie D) et un profil longitudinal en marches d'escalier.

##### b) Des traces sur les roches et des sédiments caractéristiques.

Les glaciers sculptent la montagne (photographie C, le lac occupe une zone de replat creusée par l'ancien glacier). Les traces de leur activité sont visibles non seulement dans le paysage mais aussi au niveau de l'affleurement et même de l'échantillon. C'est ainsi qu'un dépôt morainique est identifiable même si la forme de la moraine a disparu sous l'effet de l'érosion. Un dépôt glaciaire typique correspond à un ensemble très hétérogène de blocs et galets de toutes tailles, noyés dans un ciment argilo-limoneux (photographie G, paysage de « cheminées de fée » sculptées par érosion de la moraine, les blocs les plus volumineux retardant l'érosion des dépôts situés au-dessous sous l'effet de la pression exercée). Cette absence de tri résulte des conditions de transport des matériaux par la langue glaciaire.



Des blocs isolés eux-mêmes peuvent révéler une histoire glaciaire. C'est ainsi que les galets morainiques ou les roches laissées en place dans la vallée sont parfois striés (photographie E) : ils ont été non seulement usés et arrondis mais aussi rainurés par des blocs enchâssés dans la glace et jouant le rôle de véritables burins. Enfin, la présence de blocs, (Photographie F), sans rapport géologique avec leur soubassement actuel (blocs erratiques), s'explique par un transport glaciaire et un abandon sur place lors du retrait du glacier.

## **2. Les anciennes glaciations dans le Quaternaire rhodanien**

*Document cartographique*

• Analyser la carte des anciennes glaciations du Quaternaire rhodanien pour y rechercher les traces laissées par d'anciens glaciers. Pourquoi les moraines internes sont-elles les plus visibles sur cette carte ?

## **3. L'ancienne vallée de la Bièvre - Valloire**

*Document cartographique*

La Bièvre-Valloire est une ancienne vallée glaciaire qui unit les vallées de l'Isère et du Rhône. Le passage de la vallée de l'Isère à celle de la Bièvre-Valloire se fait par un seuil élevé de plus de 250 m d'altitude, si bien que le glacier de l'Isère n'a pu envahir cette vallée que lors de ses périodes de forte extension. Les sédiments glaciaires déposés à ces occasions n'ont pas subi d'érosion fluviale notable par la suite.

• Retrouver sur la carte de la vallée de la Bièvre-Valloire les limites des deux dernières glaciations. Dans quelle partie de la vallée de Bièvre-Valloire se localisent les sédiments fluvio-glaciaires rissiens et würmiens ?

## **B. Les environnements du Monde pendant les deux derniers extrêmes climatiques**

Deux cartes des environnements du Monde pendant les deux derniers extrêmes climatiques (CCGM) et les extraits de cartes (Jeulin) :

- Le dernier maximum glaciaire (-18 000 ± 2000 ans BP<sup>1</sup>)
- L'optimum Holocène (-8000 ± 1000 ans BP)

### **1. En Europe**

Planches 1, 2 et 10 (Extrait de la carte du CCGM, Jeulin) et les informations qui suivent.

#### **Des informations complémentaires**

#### **Définition des associations végétales des cartes de végétation**

d'après la notice des cartes publiées par la CCGM

#### **Toundra arctique ou alpine**

Formations basses à croissance très lente et vivaces seulement pendant une brève saison estivale : pelouses de graminées avec buissons rampants. La température moyenne du mois le plus chaud est inférieure à 10°C. La température est au-dessus des conditions de gel seulement 2 à 3 mois par an et les précipitations annuelles sont généralement inférieures à 250 mm. Cependant, le climat est humide en raison d'une très faible évapotranspiration.

#### **Toundra steppe**

Elle occupe aujourd'hui des surfaces limitées en Sibérie et aux très hautes latitudes d'Amérique du Nord. Il s'agit en fait de végétation en mosaïque rapprochant des plantes caractéristiques à la fois des toundras et des steppes froides.

#### **Taïga**

Végétation ouverte avec buissons : conifères bas et bouleaux. Les températures moyennes du mois le plus chaud se situent entre 10 et 15°C, mais les moyennes minimales d'hiver peuvent descendre au dessous de -30°C. Les précipitations sont en général inférieures à 500 mm/an.

#### **Forêt boréale**

Forêt dominée par les conifères avec présence discrète de feuillus. Les forêts de conifères de l'étage subalpin des montagnes des latitudes moyennes sont incluses dans cette définition.

#### **Forêt tempérée mixte**

Cette forêt associe feuillus et conifères aux altitudes basses et moyennes (étages de collines et montagnes) des latitudes moyennes.

<sup>1</sup> Before Present soit 1950.

### **Forêt tempérée décidue**

Forêts de feuillus des moyennes latitudes avec un climat tempéré. Les variations climatiques saisonnières sont déterminées davantage par les températures que par les précipitations. Les températures du mois le plus froid varient entre -5°C et +10°C, les précipitations moyennes annuelles sont supérieures à 450 mm.

### **Zone boisée xérophytique ou méditerranéenne**

Regroupe des végétations soumises à des stress hydriques saisonniers, associant certains feuillus caducifoliés (faciès le moins aride), des feuillus sempervirents (arbres ou arbustes) et des conifères adaptés à la sécheresse (garrigues). Les températures moyennes d'hiver se situent généralement autour de 10 et 12°C, avec possibilité de plusieurs jours de gel. Les précipitations annuelles varient entre 275 mm et 900 mm, avec au moins 65% tombant en hiver.

### **Steppe**

Formation herbacée basse plus ou moins ouverte et suffisamment continue pour dominer le paysage (la prairie nord-américaine a été classée dans les steppes). Ces formations sont déterminées par de basses précipitations, mais supposent de très grandes amplitudes thermiques, ce qui justifie leur répartition à la périphérie des déserts tropicaux et aux hautes et moyennes latitudes en domaine continental.

### **Savane**

Formations herbacées hautes : graminées avec présence de quelques espèces arborescentes dispersées, contraintes comme les steppes par le déficit hydrique, mais aux marges du domaine sub-équatorial (transition entre les savanes boisées et les déserts tropicaux).

### **Steppe boisée ou savane boisée**

Pour des raisons de facilité graphique, deux en-têtes différents ont été associés. Les savanes boisées constituent un faciès de transition entre la savane et la forêt équatoriale, de même que les steppes boisées constituent un faciès de transition entre les steppes continentales ou méditerranéennes et les boisements xérophytiques.

### **Forêt tropicale ou équatoriale**

Forêts denses de nature différente : la forêt pluviale équatoriale qui reçoit plus de 1500 mm d'eau par an, avec des précipitations réparties sur toute l'année, et la forêt tropicale saisonnière semi-décidue avec un mélange d'arbres caducifoliés et sempervirents qui est déterminée par un régime de mousson à hivers secs. Les températures moyennes annuelles sont toujours supérieures à 18°C et les précipitations minimales mensuelles dépassent 60 mm.

### **Zone aride**

Déserts qui reçoivent moins de 150 mm d'eau par an, avec une forte évaporation, et les semi-déserts où les températures moyennes annuelles sont très variables.

### **Mangrove**

Végétation littorale marécageuse qui occupe de vastes surfaces le long des côtes tropicales et subtropicales : elle est caractérisée par des arbres ayant développé des adaptations à l'anoxie racinaire.

**Pergélisols.** Dans les régions soumises à des hivers très rigoureux (Nord Canada, Sibérie), le sol gèle profondément ; à la belle saison, seules les couches superficielles dégèlent. Soumis à cette alternance de gel - dégel, les matériaux du sol sont finement fracturés (gélifraction) et subissent des déplacements qui laissent des



traces dans les coupes de sol : traces de solifluxion (glissements de terrains) ou de cryoturbation (mouvements de matière qui laissent à l'intérieur du sol des « figures » caractéristiques, photographie ci-contre, tirée du site CNRS, dossier Climats).

**Loëss.** Certains dépôts comme les loëss sont étroitement associés aux conditions climatiques qui règnent au voisinage des régions couvertes de glaciers : on les qualifie de dépôts périglaciaires. Leur étude permet d'obtenir des renseignements précieux sur les cycles climatiques qui ont marqué le Quaternaire.

Le loëss est une roche meuble, limoneuse, jaunâtre à brun jaunâtre, finement poreuse, avec une composition granulométrique

remarquable. Le quartz, présent sous forme de grains ronds et mats et piqueté, représente le minéral dominant du loëss. Il s'agit donc d'une roche riche en silice.

La présence de calcaire est fréquente, avec des teneurs variables pouvant atteindre 25 %.

Le tri remarquable des particules limoneuses d'une part (diamètres compris entre 0,0002 et 0,05 mm), l'aspect des quartz d'autre part, sont caractéristiques d'un transport à grande distance par le vent : le loëss est un dépôt éolien. En Europe, les grands dépôts de loëss, qui couvrent 10 % environ des surfaces continentales, se répartissent au voisinage des grandes zones d'accumulation détritiques (dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires et fluviatiles). Ils correspondent à l'érosion puis au transport des matériaux fins provenant du sol de steppes balayées par le vent pendant les périodes froides du Quaternaire : c'est un dépôt périglaciaire.

• Sous forme d'un tableau, comparer, en illustrant d'exemples : l'extension des calottes glaciaires, l'épaisseur de la glace, les lignes de rivages et les conséquences, le lit des fleuves, la répartition des pergélisols, les dépôts de lœss, les zones arides et les associations végétales (ou biomes).

## 2. Ailleurs à la surface de la planète

Les cartes mondiales du CCGM, les planches 3, 4 et 10 (Extrait de la carte du CCGM, Jeulin)

• Sous forme de paragraphes, repérer dans le monde d'autres exemples relatifs à : l'extension des calottes glaciaires, les lignes de rivages et les conséquences, la répartition des pergélisols, les dépôts de lœss, les variations importantes d'emplacement des zones arides et des associations végétales.

## C. Les informations apportées par les pollens

### 1. Extraction et identification des pollens d'une tourbe de Franche-Comté (Jura)

Les pollens et les spores sont fossilisés successivement dans les sédiments et notamment dans la tourbe qui se forme dans des écosystèmes particuliers, les tourbières. La tourbe résulte de l'accumulation de matières organiques provenant de la décomposition partielle de mousses et notamment de sphaignes dans une eau très acide. Cette roche carbonée est actuellement exploitée essentiellement pour servir de support en horticulture. Ils constituent des témoins de la flore et par conséquent des conditions climatiques passées. Pour en savoir



Tourbière de Machais (Alsace).

plus sur les tourbières : <http://www2.ecol.ucl.ac.be/tourbiere/index.html>

Un échantillon de tourbe prélevé à une certaine profondeur dans une carotte peut être daté approximativement en connaissant la vitesse de croissance moyenne en épaisseur de la tourbière (5 à 10 cm par siècle). Une datation précise peut être obtenue par dosage du  $C^{14}$ . En effectuant un carottage dans une tourbière, et en identifiant couche après couche les grains de pollen déposés depuis des millénaires, on peut reconstituer l'histoire du paysage végétal de la région. Un grain de pollen mesure en général 20 à 30 micromètres et sa physionomie permet de déterminer l'espèce végétale à laquelle il appartient.

#### Protocole d'extraction

- Prélever 2 cm<sup>3</sup> de tourbe dans un niveau de la carotte.
- Émietter.
- Placer dans un bécher dans KOH à 10% (4 fois le volume de tourbe).
- Placer le bécher pendant 10 minutes dans un bain-marie à ébullition.
- Filtrer sur un tamis à pollen (maille 180 µm).
- Laver le tamis à l'eau distillée.
- Centrifuger l'ensemble du filtrat, pendant 15 minutes.
- Reprendre le culot à l'eau distillée et centrifuger à nouveau (même durée).
- Prélever une partie du culot et la monter entre lame et lamelle dans une goutte de fuchsine basique.

#### Identification des pollens

- Observer au microscope et identifier à l'aide de la clé de détermination de la page <http://svt.ac-bordeaux.fr/pollens.htm>
- On peut remplacer avec des préparations du commerce.

### 2. Exploitation de diagrammes polliniques

Document « Comment interpréter les diagrammes polliniques et exemples à interpréter »

Un diagramme pollinique est toujours décrit et interprété dans le sens de la sédimentation, à partir des niveaux les plus bas, c'est-à-dire les plus anciens, vers les couches les plus récentes.

## II. Au-dessus des calottes polaires

### A. Appréhender la variation de température - Principe de la mesure du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

**Notion concernant les isotopes de certains éléments (oxygène, hydrogène, carbone...).**

Les isotopes les plus légers, stables, sont toujours les plus abondants. Les isotopes les plus légers ont tendance à diffuser et à réagir plus facilement que les isotopes les plus lourds.

La molécule d'eau renferme de l'oxygène, on distingue l'eau de mer et l'eau douce (vapeur, pluie et glace).

• Avec l'aide du logiciel « Oxygène ( $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ ) » disponible dans « Programmes », formuler les notions énoncées ci-dessous, conclure.

- Différences isotopiques entre  $^{16}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$  d'où différence entre les molécules  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  et  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ .
- Distribution relative des isotopes  $^{16}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$  dans l'eau océanique et dans les nuages après évaporation et après condensation dans les eaux de pluie.
- Nature des renseignements fournis par les tests de Globigérines récoltés lors de carottages.
- Variation principale du rapport isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  des zones d'évaporation vers les zones polaires.
- Variations du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  en période chaude et en période glaciaire.
- Utilisation des tests carbonatés de sédiments océaniques comme indicateurs paléoclimatiques.

• Avec l'aide du manuel page 220, prendre connaissance de la formule qui régit la valeur  $\delta^{18}\text{O}$ .

### B. Mise en évidence de changements climatiques au cours du quaternaire récent à l'aide des mesures effectuées dans les bulles d'air emprisonnées dans les glaces des calottes polaires par les méthodes de thermomètres isotopiques $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta\text{D}$

• À partir des informations tirées des fiches « Thermomètres isotopiques », « Opposition climatiques Nord - Sud dans les carottes de glace » et des données numériques concernant Vostok ( $\delta\text{D}$ ) et Grip Greenland ( $\delta^{18}\text{O}$ ) interprétées graphiquement, repérer les variations de climatiques, tenter de nommer les périodes puis comparer les données obtenus dans l'Antarctique (Vostok) avec celles obtenues dans la calotte arctique (Greenland).

### C. L'étude comparée de la composition de bulles de gaz et de la composition isotopique des glaces de Vostok met en évidence des oscillations climatiques périodiques

• À l'aide du logiciel « Vostok » disponible dans « Programmes », formuler les notions énoncées ci-dessous, conclure. (On pourra réviser le programme de Seconde avec le logiciel « Terre » disponible dans « Programmes »).

- Relier les variations locales de la température aux variations de concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère
- Mettre en évidence les variations climatiques montrant des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires en comparant à la courbe des températures, la courbe des variations du  $\delta^{18}\text{O}$ , les courbes de concentration en  $\text{CO}_2$  et en méthane.
- Évaluer des périodes de 43 000, 24 000 et 19 000 ans liées aux variations des paramètres orbitaux de la Terre (Utiliser les informations relatives aux cycles de Milankovitch, § IV-A, manuel, p. 224-225)).
- Lier les variations des paramètres orbitaux aux variations au cours du temps de l'énergie reçue aux différentes latitudes.

## III. Les archives climatiques dans les sédiments océaniques permettent de remonter dans des temps plus lointains

• À partir des informations tirées du manuel, p. 222-223 et de la fiche « Thermomètres isotopiques », montrer que les données tirées des sédiments et des tests carbonatés du plancton permettent d'évaluer les variations du volume des océans et par conséquent du volume des calottes glaciaires.

## **IV. Recherche des causes possibles**

### **A. Les paramètres orbitaux**

---

- *Mettre en relation les informations relatives aux paramètres orbitaux mis en évidence par le mathématicien Milutin Milankovitch (manuel, p. 224-225) et les données graphiques obtenues au § II-B et C, dans les glaces des calottes glaciaires.*

### **B. Les variations climatiques et l'effet de seuil**

---

- *Manuel, unité (, p. 226-227, répondre aux questions de l'unité.*