

BILAN 9: L'EVOLUTION RECENTE DU CLIMAT ET DE L'ATMOSPHERE (TP2, TP3)

L'étude de l'évolution passée de l'atmosphère et des climats de la planète, procure des éléments de réflexion et des modèles pour proposer des scénarios de son évolution future.

Les climats des 800 000 dernières années sont enregistrés notamment dans les séries sédimentaires : l'accumulation des **glaces aux pôles**, les **roches sédimentaires** des fonds océaniques les **sédiments des lacs et des tourbières**, les **glaciers continentaux** etc. Tous ces indicateurs climatiques ayant leur limite, l'étude des climats passés **doit se fonder sur plusieurs types d'observations**. L'ensemble des indices climatiques récents, permet de déceler des variations climatiques avec une précision de l'ordre du **millier d'années**. Plus on recule dans le temps, plus les enregistrements géologiques **perdent leur résolution temporelle** : à l'échelle de l'âge de la Terre, les grandes variations climatiques ne sont décelées qu'avec une précision de l'ordre du million d'années au moins.

I- LES GLACES POLAIRES ARCHIVES DES VARIATIONS CLIMATIQUES RECENTES

Les calottes polaires (appelées aussi Inlandsis) du **Groenland et de l'Antarctique** qui sont respectivement constituées par l'accumulation et le tassement progressif de glace pouvant dépasser 3 kilomètres. Les forages au cœur des **inlandsis**, ont permis de reconstituer les variations locales des températures jusqu'à 800 000 ans (forage au Dôme C en Antarctique)

1-Delta isotopique et paléo températures

► Les mesures sur les précipitations actuelles ont montré qu'il existe une relation entre la température à laquelle surviennent ces précipitations et la composition isotopique de l'eau (Les deux rapports isotopiques $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$ sont exploitables).

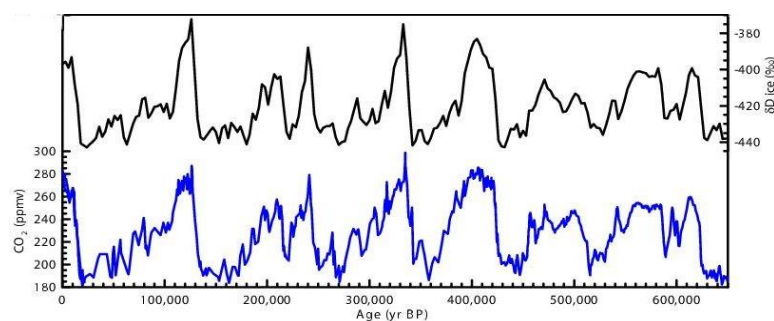
En effet, la molécule d'eau contenant du ^{16}O , **moins massive**, s'évapore mieux que la molécule contenant du ^{18}O . De ce fait, plus il fait froid, plus les précipitations sont appauvries en ^{18}O , plus les précipitations neigeuses sur les pôles et donc les glaces, sont pauvres en ^{18}O et plus les océans sont enrichis en ^{18}O (même raisonnement pour l'hydrogène et le deutérium).

► Pour étudier ces variations isotopiques, on utilise un outil mathématique le $\delta^{18}\text{O}$ (δD pour l'hydrogène), dont les variations sont établies à partir de forages dans les **glaces polaires**, ou dans les **calcaires des fonds océaniques** :

En ce qui concerne les glaces, plus la température est basse au moment de la précipitation neigeuse, plus l'**indice isotopique** mesuré dans cette glace est faible. Les rapports isotopiques de l'oxygène ou de l'hydrogène de l'eau, constitue donc un « **thermomètre isotopique** » et la composition en isotopes, de la glace d'un forage, nous renseigne sur les températures **locales** au moment des précipitations neigeuses.

► Pour le dôme C, en Antarctique, on constate que le delta D a varié cycliquement entre -360 et -450 ‰ au cours des 800 000 dernières années, avec une période de l'ordre de 100 000 ans. On peut en déduire que la température moyenne annuelle a varié entre -52°C et -65°C (soit une amplitude de -13°C par rapport à la période actuelle).

► Les variations cycliques des températures en Antarctique coïncident avec celles déduites des analyses au Groenland, pour les 400 000 dernières années. On extrapole donc ces variations au **climat mondial** et non plus seulement local et on les interprète comme des **alternances de périodes glaciaires et interglaciaires**. La dernière glaciation a débuté il y a environ 110 000 ans, et se termine il y a près de 15 000 ans. Le dernier **maximum glaciaire** se situe il y a 20 000 ans et nous sommes aujourd'hui en période interglaciaire.



Doc.2:- Composition isotopique des glaces du Groenland et teneur en CO₂ des bulles d'air de la glace (Dôme C)

La glace prélevée par carottage en Antarctique au Dôme C résulte du tassement et de la compaction de plus de 700 000 années de chutes de neige. Celle-ci en se tassant, a emprisonné l'air des flocons, qui se trouve maintenant sous forme de **microbulles** dans les glaces. L'analyse du delta D et celle des gaz des microbulles de la glace (voir 2), permettent de déterminer les variations climatiques locales passées.

► L'**enrichissement de l'océan** en oxygène 18 est indiqué par le delta isotopique **des coquilles et tests calcaires** des microfossiles présents dans les sédiments marins, comme les **foraminifères**.

Les foraminifères sont des Protozoaires marins qui fossilisent dans les sédiments et dont la composition isotopique dépend de la température de l'eau. De ce fait, le $\delta^{18}\text{O}$ de la mer -et donc des foraminifères- varie à l'inverse du $\delta^{18}\text{O}$ des glaces, soit à l'inverse des températures.

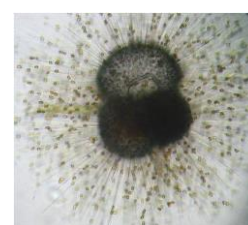
Doc.3-Tests calcaires de foraminifères (MO)



Test de foraminifère (MET)-



Un foraminifère vivant



Certaines espèces de foraminifères manifestant des exigences climatiques précises, l'analyse des forages océaniques permet de déduire la température de l'océan soit de l'observation de la **morphologie** de ces espèces, soit de la mesure du $\delta^{18}\text{O}$ de leur test et ceci sur une période supérieure à 800 000 ans. Ces analyses concordent avec les données glaciaires.

2-L'évolution récente de la composition atmosphérique, mesurée dans les glaces

► La mesure directe de la concentration, des **gaz à effet de serre** –en particulier **CO₂, méthane-**, dans les échantillons d'atmosphère piégée dans des **microbulles de la glace**, permet de constater qu'à chaque **période chaude**, correspondent des **concentrations élevées dans l'atmosphère de gaz à effet de serre**, et que c'est **l'inverse aux périodes froides** (voir document 2 page1).

► Depuis 800 000 ans, les concentrations de l'air atmosphérique en méthane et en dioxyde de carbone, sont **parallèles et corrélées** aux variations des températures déduites de l'étude du **Delta ¹⁸O** (et du delta D) des glaces.

Depuis la **révolution industrielle**, ces concentrations ont augmenté exponentiellement, pour atteindre des valeurs jamais atteintes depuis 800 000 ans. Une grande partie des gaz à effet de serre est aujourd'hui **d'origine anthropique**. Ainsi, le méthane anthropique dépasse le double des sources **naturelles** de méthane, et l'agriculture à elle seule en génère autant. D'autres gaz d'origine **exclusivement anthropique** sont également détectables dans les couches récentes des calottes polaires.

II- LA FLORE, INDICE BIOLOGIQUE DES VARIATIONS CLIMATIQUES RECENTES

► **Les différents climats sur Terre, déterminent des zones de végétations** (équatoriale, tropicale, désertique, tempérée, toundra, taïga) auxquelles correspondent des faunes et des flores différentes. Il existe donc des relations entre climat, végétation et faune.

► Les espèces végétales actuelles, possèdent des **exigences écologiques**, liées au sol, mais surtout au climat. D'après le **principe d'actualisme**, on peut supposer qu'il en était de même par le passé. La **paléovégétation**, peut être utilisée comme indicateur des **paléoclimats**.

► La paléovégétation, peut être reconstituée en étudiant les **grains de pollen fossiles** –**palynologie**-, dont la morphologie est caractéristique de l'espèce. En dehors des pôles, les variations climatiques locales peuvent donc être déduites des pollens contenus dans les carottes sédimentaires des lacs ou des tourbières, dans lesquels ils sont piégés en grande quantité. L'architecture très diversifiée de la paroi des grains de pollen -*l'exine*- , permet une identification précise **par comparaison avec les genres actuels**. **Selon le principe d'actualisme, les formes fossiles proches des formes actuelles, témoignent des mêmes exigences et donc d'un paléoclimat déterminé.**

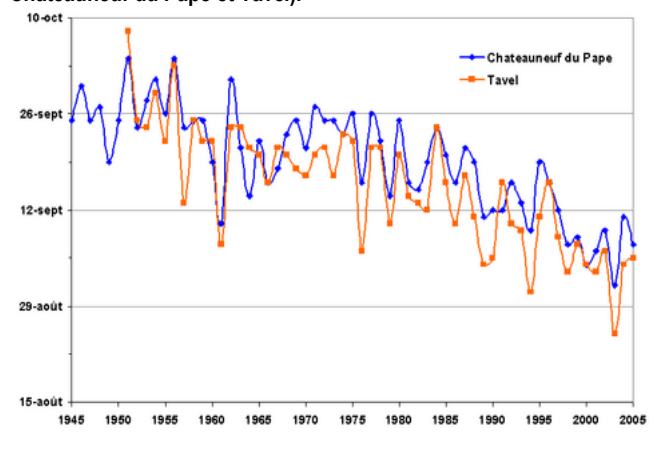
► Il est possible de construire un **diagramme pollinique** témoin de l'évolution des **populations végétales** au cours du temps, à partir des analyses polliniques réalisées à **différents niveaux d'un gisement sédimentaire** (comme la tourbe des anciens lacs ou zones marécageuses, les sédiments de remplissage des grottes ou ceux accompagnant des restes d'Hominidés etc.). On construit ainsi des **cartes de la répartition de la végétation** à différentes époques, qui donnent accès aux **variations climatiques locales**. Les pollens permettent une **analyse fine** des variations climatiques récentes.

► Les résultats obtenus en **différents lieux**, montrent **l'étendue planétaire des variations climatiques**, en accord avec les données glaciaires et valident l'existence de variations climatiques **synchrones et périodiques à l'échelle du globe**.

► Pour les variations climatiques **les plus récentes**, outre la palynologie qui permet d'étudier des périodes d'environ 150 000 ans et les mesures directes des températures dont les archives n'excèdent pas 150 ans, on utilise également les **dates de floraison ou de récolte** en agriculture dont les témoignages écrits remontent jusqu'à 2000 ans, les variations de masse des glaciers continentaux, les migrations, les **cernes des arbres** (dendrochronologie) sur des arbres fossiles pouvant permettre de remonter jusqu'à 10 000 ans, etc.

Doc.4- Deux indicateurs des variations climatiques très récentes

Dates de vendanges en Côtes du Rhône méridionales (appellations Châteauneuf du Pape et Tavel).



Evolution des effectifs d'oies cendrées hivernantes en France entre 1968-2006

