

à la **une**

1995

Année du lancement d'Epica, projet européen de forage de glace en Antarctique.

60 000

échantillons analysés et interprétés, dont un tiers par l'équipe du LSCE.

Il y a 800 000 ans, quel temps faisait-il ? Ou plutôt, quel était le climat ? Au prix de longues expéditions polaires, des scientifiques européens, dont ceux du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)¹, mènent l'enquête. Dans le cadre du projet Epica², ils prennent en filature la glace, indice de la nature assurément le plus bavard... Ils n'hésitent pas à descendre

à - 3 000 mètres pour lui extorquer des aveux sur les grandes variations climatiques, à savoir l'alternance des périodes glaciaires et des périodes chaudes. Les carottes glaciaires sont passées à la loupe et livrent aujourd'hui les températures des 800 000 dernières années. Des informations précieuses qui viennent défier les modélisateurs du climat. Objectif : comprendre

10 pays

investis dans le projet :
Allemagne, Belgique,
Danemark, France, Italie,
Norvège, Pays-Bas,
Royaume-Uni, Suède
et Suisse.

3 mois

Durée d'une mission,
de novembre à janvier,
pendant l'été austral.

-50 °C

Température moyenne
annuelle en Antarctique.

6700 m

Hauteur de glace prélevée
depuis le début du projet
Epica sur ses sites Dôme
Concordia (photo ci-dessous)
et Dronning Maud Land.

© Bios

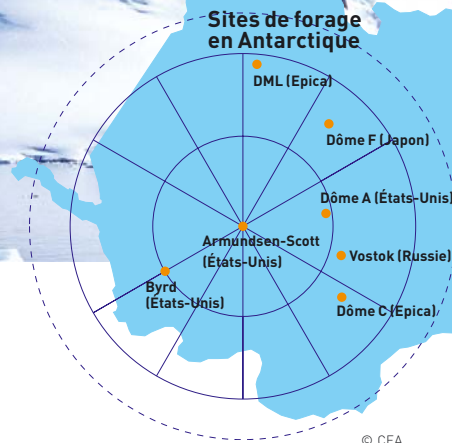
Le ^{EPICA} climat pris dans les glaces

Au fil des siècles, le climat laisse des indices emprisonnés dans la glace des pôles. | Le projet européen Epica a pour mission de libérer et de faire parler ces précieux témoins. | Objectif : préciser les modèles climatiques.

la « sensibilité » de la machine climatique, ou découvrir les facteurs déclenchant le début ou la fin d'une ère glaciaire. Si les analyses confirment que les gaz à effet de serre amplifient les changements climatiques, les climatologues ont encore beaucoup d'autres témoins à auditionner ! Décoder les multiples et complexes paramètres du climat est un défi qui appelle de

nouvelles expéditions dans le temps et dans les glaces, et des modèles toujours plus précis pour que la machine climatique tourne rond !

1. Unité mixte de recherche du CEA, du CNRS et de l'université Versailles Saint-Quentin. 2. European project for ice coring in Antarctica.



© CEA

800 000 ans sous les glaces

DOSAGE ISOTOPIQUE

Mesure des concentrations des différents isotopes d'un même élément chimique.

Tout se passe dans l'univers hostile de l'Antarctique, aux sites de forage Dôme Concordia (Dôme C) et Dronning Maud Land (DML), où les climatologues du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) affrontent des températures extrêmes pour remonter pas à pas le climat des 800 000 dernières années.

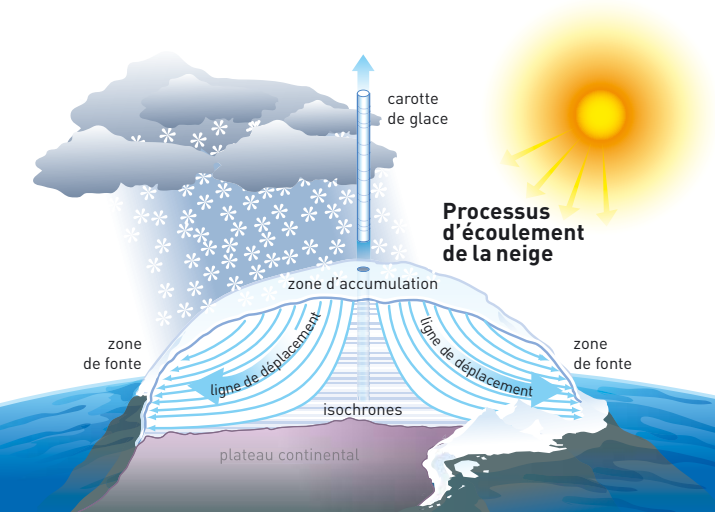
FAIRE PARLER LA GLACE

L'étude de la glace polaire est indispensable en climatologie : l'analyse de l'eau de la glace permet de reconstituer les températures de l'Antarctique, tandis que celle de ses bulles d'air renseigne sur la composition atmosphérique globale. Mais pour exploiter ces données, il faut pouvoir les dater. Ce qui nécessite, dans un premier temps, d'estimer la quantité annuelle d'enneigement basée sur la détection, sur les premiers mètres de la carotte, d'horizons temporels comme les pics de radioactivité issus des essais nucléaires menés

dans les années 1960 ou les poussières d'éruptions volcaniques datées. L'enneigement passé est également évalué à partir du dosage isotopique de l'eau de la glace. La datation repose enfin sur la modélisation de deux phénomènes. D'une part, l'écoulement de la neige, qui provoque le mélange des couches successives (voir schéma ci-dessous). D'autre part, la densification, qui permet d'expliquer que les bulles d'air soient plus jeunes que la glace qui les entoure : « La neige étant un milieu poreux, sa transformation en glace est un processus lent pendant lequel l'air continue de s'infiltrer. Sur des glaces vieilles de 4000 ans, on peut trouver des bulles contemporaines ! », précise Valérie Masson-Delmotte, climatologue au LSCE. C'est en rassemblant toutes ces données que les chercheurs peuvent remonter 800 000 ans au Dôme Concordia, avec une résolution de l'ordre du siècle, et 250 000 ans au DML (site où l'enneigement est plus abondant), avec une analyse affinée sur la dizaine d'années.

LES GRANDES VARIATIONS CLIMATIQUES

Une fois ces marqueurs temporels établis, la glace et les bulles d'air sont interrogées par les spectromètres de masse pour restituer les températures passées. Le dosage isotopique de l'hydrogène présent dans la glace consiste à mesurer sa teneur en deutérium (0,003 % de l'eau de mer), dont on sait qu'elle est d'autant plus faible que la température qui régnait lors des précipitations était froide (voir « Tout s'explique », pp. 16-17). Ainsi, à partir de milliers d'échantillons, la courbe des températures de l'Antarctique se dessine, présentant l'alternance des périodes glaciaires et chaudes tous les 100 000 ans. Ces dernières se révèlent



© D. Hadjijannakis



© B. Krist/Corbis

« Tout se passe comme si l'hémisphère Nord répondait au Sud, ou inversement... »

instables: nous vivons par exemple depuis 12 000 ans dans une période chaude plus tiède et plus longue que la précédente, il y a 130 000 ans. Des différences confirmées par les analyses d'autres sites de forage en Antarctique¹ et déjà remarquées dans l'étude des **sédiments marins** (autre discipline de la climatologie).

Quant à l'analyse des bulles d'air des carottes de glace, elle livre de précieuses données sur la concentration des gaz à effet de serre (GES) qui y sont présents. Sur 800 000 ans, la courbe de leur évolution s'avère parallèle à celle des températures de l'Antarctique. « À chaque grand cycle climatique correspond une variation des concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) », note Valérie Masson-Delmotte.

LE RÔLE DES GAZ À EFFET DE SERRE

Cette corrélation met en évidence le rôle des GES comme amplificateurs naturels des variations: par exemple, plus il fait chaud, moins l'océan stocke de dioxyde de carbone, et plus il est concentré dans l'atmosphère, ce qui amplifie le réchauffement. De plus, la comparaison conforte les chercheurs dans le caractère global des informations climatiques issues des glaces de l'Antarctique. Des glaces qui trahissent à la fois des températures locales et la présence des GES dans toute l'atmosphère. Mais si les glaciations sont des phénomènes globaux, leur histoire comporte des

changements brutaux à caractère régional qu'il faut prendre en compte. C'est le cas des variations rapides de la dernière période glaciaire qui apparaissent dans les prélèvements du Groenland, au site de Northgrip, où le LSCE mène également des investigations. Les climatologues ont en effet enregistré des instabilités d'une amplitude de 15 °C environ en quelques dizaines d'années, de loin plus intenses que celles décelées en Antarctique. De même, en comparant les courbes de température des deux extrêmes de notre globe, un décalage temporel systématique est observé, comme si le Nord répondait au Sud, ou inversement... Les analyses d'Epica apportent donc la confirmation du rôle des courants marins dans ce décalage, la circulation océanique agissant en effet comme un transporteur de chaleur (voir encadré p. 9). Et c'est la première fois que

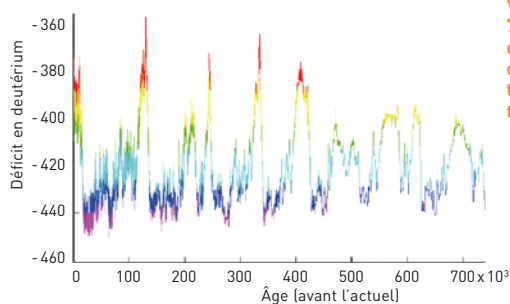
SÉDIMENTS MARINS
 Dépôts océaniques dans lesquels subsistent des squelettes de micro-organismes, témoins des conditions climatiques passées.

les climatologues peuvent montrer que les bascules Nord-Sud connues pour les plus gros événements antarctiques sont généralisées pendant tous les changements rapides des derniers 50 000 ans. Peut-on pour autant affirmer que ces accidents climatiques sont initiés exclusivement dans l'hémisphère Nord et que

l'on retrouve leurs traces dans le Sud, emprisonnées dans les glaces de l'Antarctique? Quel est leur rôle dans les changements plus lents, tel le passage aux périodes glaciaires? Des questions laissées en suspens, qui poussent les équipes du LSCE à affiner leurs analyses en augmentant leurs résolutions et à repousser les limites du temps pour remonter au-delà du million d'années.

I AUDE GANIER I

1. Des climatologues japonais, russes et américains ont également installé des sites en Antarctique.



Variation, au cours des 740 000 dernières années, des concentrations en deutérium au Dôme C, traduisant l'évolution des températures.

© Epica



Les climatologues extraient la glace du carottier après forage.

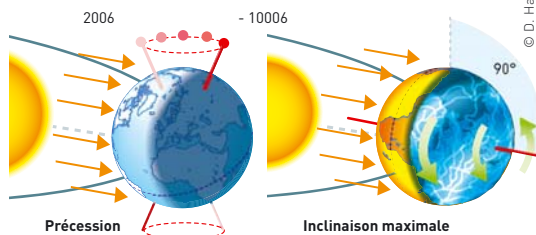
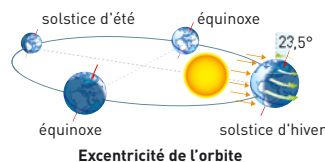
Une planète modèle

« Décrire l'alternance des périodes glaciaires et des périodes chaudes n'est pas tout, il faut maintenant comprendre quels mécanismes engendrent le passage de l'une à l'autre. » Parole de climatologue, en l'occurrence celle de Valérie Masson-Delmotte pour qui, après le temps des résultats scientifiques, vient celui de leur interprétation à l'aide de modèles numériques, développés par d'autres chercheurs du LSCE.

D'un côté, ces modèles restituent les mécanismes du climat ayant trait à la composition et à la circulation de l'atmosphère, à celles de l'océan (voir encadré « La circulation océanique », p. 9), à la végétation, au cycle du carbone¹... De l'autre, ils intègrent tous les facteurs susceptibles de le faire changer, comme les paramètres orbitaux (voir encadré ci-dessous), les éruptions du Soleil qui intensifient le rayonnement solaire sur Terre... La réaction du climat dépend également de phénomènes amplificateurs tels que l'effet d'albédo (voir encadré « L'effet d'albédo », p. 9) ou celui des gaz à effet de serre (GES). La problématique du modélisateur

Les trois paramètres orbitaux

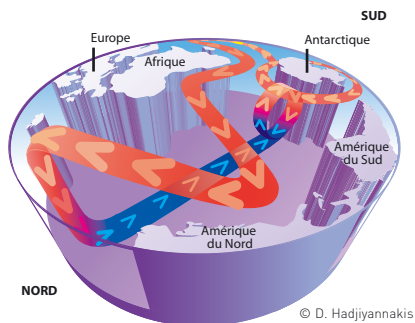
L'excentricité de l'orbite détermine la distance Terre-Soleil. Plus l'orbite est aplatie, plus cette distance est longue, et inversement. Ce paramètre joue sur les contrastes saisonniers et oscille tous les 100 000 à 400 000 ans. **L'obliquité de l'axe de rotation de la Terre** influe sur la différence d'ensoleillement entre les pôles et l'équateur. Plus l'axe est incliné, plus l'équateur se refroidit. Il évolue à un rythme de 40 000 ans. **La précession des équinoxes** modifie la position des saisons sur l'orbite de la Terre pendant un cycle de 19 000 à 23 000 ans. C'est ce paramètre qui a l'effet le plus fort sur les différences d'ensoleillement, jusqu'à 60 W/m^2 , par rapport à une moyenne de 340 W/m^2 .



© D. Hadjivanakis

La circulation océanique

La circulation océanique profonde résulte de l'affrontement de masses aux températures et densités différentes. Les eaux froides, plus lourdes, plongent sous les eaux chaudes plus légères circulant en surface. De même, l'eau salée est plus lourde que l'eau douce. La circulation océanique agit comme un transporteur de chaleur : les courants chauds de surface convoient la chaleur des tropiques vers les pôles. Là, les eaux se refroidissent et plongent pour devenir des courants de fond. Certaines régions, comme l'Atlantique nord, sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques. L'arrivée brutale d'eau douce (issue de la fonte des glaces) modifie la densité des eaux de surface et empêche leur plongée. Cela provoque un ralentissement du « tapis roulant » et un refroidissement régional avec, inversement, une accumulation de chaleur australe, détectée en Antarctique...



est alors d'assembler tous ces paramètres et de formuler des hypothèses à partir des observations du terrain. L'une des questions, et non des moindres, soulevées par les résultats d'Epica est de savoir quand et où interviendra la prochaine glaciation. La Terre, qui est dans une période chaude depuis 12 000 ans, n'a en effet toujours pas atteint le seuil minimal d'ensoleillement nécessaire au basculement vers une glaciation. Une curiosité par rapport aux précédentes périodes chaudes qui n'excédaient pas 10 000 ans. De plus, elle ne risque pas de l'atteindre avant 30 000 ans, au vu de ses données orbitales.

Sans compter que, d'après un autre modèle réalisé au LSCE, il existerait un risque que l'on saute la prochaine glaciation si l'émission des GES continue à augmenter de 1 % pendant 150 ans, comme c'est actuellement le cas... Des simulations sans complaisance qui font froid dans le dos!

I A. G. I

1. Voir l'infographie du cycle du carbone dans *Les Défis du CEA 109* ou sur www.cea.fr/defis.htm

L'effet d'albédo

Amplification locale du réchauffement ou du refroidissement, liée aux propriétés réfléchissantes des sols. Lorsque la surface de la planète se couvre de banquise ou de neige, ses surfaces blanches réfléchissent le rayonnement solaire, amplifiant le refroidissement. Inversement, les sols sombres, issus de la fonte des neiges lors d'un réchauffement, absorbent la chaleur.

Archivage des carottes de glace prélevées dans le cadre d'Epica dans différents laboratoires européens.



Mot à mot

Nommer « carotte » un prélèvement réalisé dans la profondeur immaculée des glaces polaires peut surprendre. S'agit-il d'une allusion à la couleur blanche des premiers spécimens de la racine de cette ombellifère venue du Moyen-Orient ? À moins que « vivre de carottes », autrement dit chichement, soit le lot des chercheurs dont l'un des soucis est d'économiser leurs budgets... La glace étant « l'indice le plus bavard de la nature », ce mot rappelle aussi le vocabulaire des policiers pour lesquels « tirer la carotte » signifie faire avouer. En fait, cette carotte est ainsi dénommée tout simplement en raison de sa forme.

I MARIE-JOSÉ LOVERINI I