

DOSSIER « GEOLOGIE » - VI

FORAGES POLAIRES (2)

Robert Six

II. CHRONOLOGIE DES FORAGES POLAIRES (suite)

- **La base polaire soviétique Vostok**

Dans les **années 1970**, les **Soviétiques** rejoignent leur **base de Vostok** (78°S, 106°E), en Antarctique de l'Est, installée depuis l'année géophysique internationale **en 1957**, où ils hivernent dans l'un des sites les plus inhospitaliers de la planète. Située à une altitude de **3.488 m**, il y règne les températures les plus basses de notre planète. La température moyenne y est de **-55,5°C** et le minimum atteint est de **-89,7°C** ! Le choix du lieu a été déterminé par le faible taux de précipitation, **6 cm** de neige par an, soit environ **2 cm** de glace.

Les **Soviétiques** effectuent une série de forages dans la glace à des profondeurs comprises **entre 500 en 1970 (forage 1G) et 952 m en 1974 (forage 2G)**, destinés aux tests de différentes techniques de carottage et aux mesures géophysiques (température, pression, déformation du trou). **De 1970 à 1999**, l'Institut des Mines de Leningrad, soutenu par les Expéditions Antarctiques Soviétiques, envoya une équipe de 3 à 5 spécialistes du forage, pour un hivernage de **15 mois**, afin qu'ils se familiarisent avec les conditions extrêmes.

Après 10 ans d'efforts et de mise au point, **trois nouveaux forages** sont entrepris. Le **puits 3G** atteint la cote de **2.202 m en 1985**, le **trou 4G** celle de **2.546 m en 1990** et le dernier, **5G** qui se bloque à **2.503 m** à la **fin de l'année 1991**.

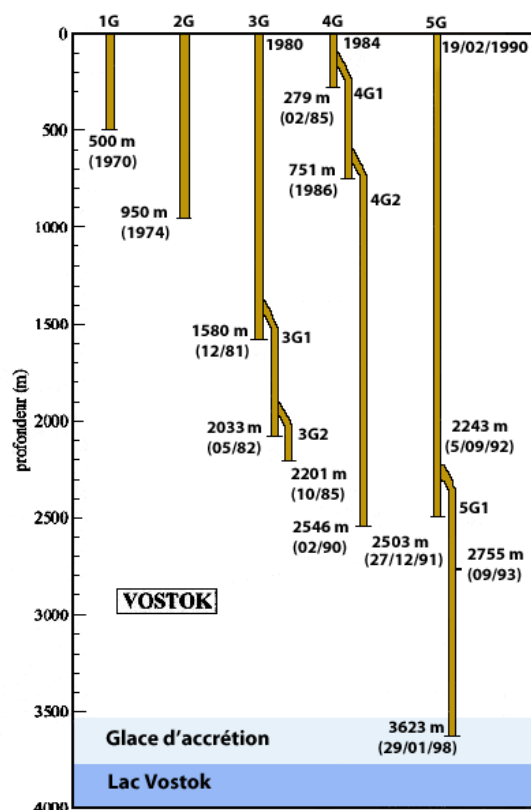


Fig. 1 – Schéma en coupe illustrant l'histoire des différents forages à Vostok

Le forage de ce puits reprit après une brève interruption pour atteindre la profondeur de **3.623 m en 1998**. Le forage fut stoppé, **en 1998**, à cette profondeur, à la demande de la communauté scientifique internationale qui craignait une contamination du lac souterrain Vostok, empêchant ainsi toute étude d'une possible vie dans les eaux du lac. Mais en fait, seuls les **3.310 premiers mètres** sont analysables et permettent de connaître le **climat passé** sur une période de plus de **420.000 d'années**.

En 2003, le forage reprend à nouveau et s'arrête **à moins de 150 m** de la surface des eaux du lac Vostok.

En 1982, les **Français** s'associent au **programme Vostok**, en proposant une analyse préliminaire des échantillons récoltés, par le Laboratoire de Glaciologie de Grenoble et le LSCE de Saclay. **En 1983**, la première série de carottes révèle, sans ambiguïté, une **histoire climatique continue de 140.000 ans** avec la **fin** de la **dernière glaciation** vers **-15.000 ans**, son **maximum** vers **-25.000 ans**, un **interglaciaire** vers **-120.000 ans** et la **glaciation antérieure** vers **-140.000 ans**. De nouvelles techniques d'analyse chimique par chromatographie liquide ou celle de ^{10}Be par accélérateur, permirent d'affiner les résultats et d'effectuer de nouvelles mesures comme celle de la composition des bulles d'air emprisonnées dans la glace.

Les **Etats-Unis** se joignent aux deux équipes et une **collaboration tripartite** débute **en 1989**, se poursuivant toujours actuellement.

L'enregistrement de Vostok, obtenu grâce à la succession des carottes de glace, est devenu une référence car il révèle les **conditions climatiques et environnementales** des **420.000 dernières années**, avec **4 cycles "glaciaire-interglaciaire"** rythmés environ tous les **100.000 ans** par des périodes interglaciaires chaudes. Les analyses démontrent également la forte **corrélation** entre les **concentrations atmosphériques en CH_4 et CO_2** et la **température de l'air** antarctique tout au long de l'enregistrement.

- **Les Français se lancent dans la course.**

En 1978, les **Français** choisissent le **site du Dôme Concordia** (Dôme C - 75°06'S, 123°24'E), en Antarctique de l'Est. Conduite par le glaciologue **Claude LORIOUS**, son équipe grenobloise, grâce à la logistique assurée jusqu'au **début des années 1990** par les expéditions polaires françaises (EPF) et depuis lors par l'Institut polaire français Paul-Émile Victor (IPEV), y effectue une première mission durant l'**été austral 1974/1975**. Un carottage profond est réalisé au cours de l'**été austral 1977-1978**, à une quarantaine de kilomètres du site actuel de la station Concordia. La carotte de glace de **906 mètres** obtenue permet de remonter à près de **35.000 ans** d'**archives climatiques** et d'obtenir ainsi des informations précieuses sur le point culminant du **dernier âge glaciaire** (environ **- 20.000 ans**) et sur la **période chaude actuelle** qui dure **depuis 10.000 ans**.

C'est ce carottage qui a permis aux scientifiques de montrer le lien existant entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et température à la surface de la planète.

Avec l'ENEA, son homologue italien, l'IPEV assure le soutien logistique très lourd de l'opération de forage du **Dôme C**, site où a été construite la **station permanente franco-italienne Concordia**. L'équipe technique du LGGE a joué un rôle essentiel dans le développement et la mise en œuvre du carottier utilisé lors des deux forages et des appareils de mesures géophysiques.

- Les **Japonais** se lancent également dans l'aventure **de 1993 à 1997**. Ils forent, en Antarctique de l'Est, au **Dôme Fuji** (77°19'01"S, 39°42'12"E). Cette base se situe à une altitude de **3.810 m**. La température au sol et l'accumulation de surface sont de l'ordre de **-58°C et 3,1 cm/an**. Le forage s'est arrêté à la profondeur de **2.503 m** à la suite du blocage du carottier. Les carottes de glace récoltées correspondent approximativement à **340.000 ans d'archives climatiques**. Elles sont principalement destinées aux études des propriétés physiques et du matériau glace naturelle.
- **Le projet européen EPICA.**
Le **programme EPICA** (*European Project for Ice Coring in Antarctica*) est un programme scientifique européen (CE et ESF) financé par la Communauté Européenne et les contributions nationales de l'Allemagne, de la Belgique, du Danemark, de la France, de l'Italie, de la Norvège, des Pays-Bas, du Royaume-Uni, de la Suède et de la Suisse.

L'objectif de ce projet est d'apporter des réponses à certaines questions que les forages précédents n'ont pas résolues, à savoir :

- le caractère global ou non des changements climatiques rapides ;
- leur existence au cours des précédentes périodes glaciaires ;
- la stabilité exceptionnelle du climat des 10.000 dernières années ;
- le fait que les changements climatiques soient, ou non, liés à l'hémisphère nord ;
- le problème du couplage entre hémisphères.

Lancé **en 1995**, EPICA, placé sous l'égide de la Fondation Européenne de la Science (ESF), entreprend deux carottages sur deux sites très reculés et diamétralement opposés de l'Antarctique de l'Est, où la calotte glaciaire est épaisse de plus de **3.000 mètres**, au **Dôme C** (75°06'06"S, 123°23'42"E), et dans la région de **Dronning Maud Land** (75°00'S, 0°01'E).

Les opérations de forage ont pris plusieurs années et ont été conduites dans des conditions climatiques extrêmes, avec une température moyenne annuelle de **-54,5 °C** au **Dôme C** et de **-44,6°C** à **Dronning Maud Land**. Les carottes et échantillons de glace ont ensuite été rapatriés et analysés dans différents laboratoires européens.

L'installation du camp de base à **Dôme Concordia** eut lieu **en 1996-1997**. L'objectif était d'atteindre le socle rocheux **en 2000**, et de couvrir les **500.000 dernières années** dans un site plus favorable que celui de la base Vostok, car situé sur un dôme et présentant une accumulation de glace plus forte. Lors de la **saison 1997-1998**, l'équipe de forage atteint la profondeur de **363,5 m**. Durant la **campagne 1998-1999**, la poursuite du forage est contrariée par des problèmes d'ordre électronique qui affectent le carottier ; ce dernier se coince à **786,53 m**. La mission reprend après le choix d'un nouvel emplacement et le puit atteint, **en 2000-2001**, les **1.458,19 m**. Durant la **campagne** suivante (**2001-2002**), la profondeur de **2.872 m** est atteinte, ce qui correspond à **500.000 ans d'histoire climatique**.

En parallèle, des campagnes de reconnaissance sont entreprises dans la région de Dronning Maud Land, entièrement inexplorée.

En 2001 et 2003 un **second forage** y est réalisé permettant une comparaison des **100.000 dernières années** avec les résultats obtenus au centre du Groenland. Le critère du choix de cette deuxième zone est le taux élevé des accumulations sous l'influence dominante des précipitations en provenance de l'Atlantique Sud.

En effet, la circulation de l'océan Atlantique a probablement joué un rôle crucial dans l'existence de variations climatiques rapides.

Ces carottages ont donné accès à l'évolution au cours du temps de divers paramètres : la température, l'accumulation de neige, la composition des aérosols atmosphériques, la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre, l'activité solaire et l'intensité du champ magnétique, ainsi que le flux de matériaux d'origine extra-terrestre.

Le **21 décembre 2004**, après **8 ans** de travail, le **forage EPICA** réalise une prouesse technique : **atteindre le socle rocheux** et extraire une **carotte de glace de 3.260 mètres**, soit **800.000 ans d'archives d'évolution du climat**.

Le carottage réalisé au **Dôme C** a permis de reconstruire, sur **plus de 800.000 ans**, soit le double de la période couverte par les enregistrements réalisés sur le site Vostok, les **variations de la température et de la composition de l'atmosphère en gaz à effet de serre en Antarctique**. Celui pratiqué dans la région de **Dronning Maud Land** a permis en outre d'étudier de façon extrêmement détaillée le **couplage entre les climats des hémisphères Sud et Nord**.

Pour confirmer ces résultats, les glaciologues souhaitent effectuer des forages de plus en plus profonds afin d'avoir des données sur des durées plus longues, et donc sur plusieurs cycles glaciaires et interglaciaires.

L'analyse complète et multi-paramétrique de la **carotte EDC** (actuellement dans le cadre du projet européen EPICA-MIS) va prendre plusieurs années. Toutefois, une série de profils « basse résolution » concernant par exemple la composition en deutérium de la glace, sa concentration en poussière ou encore la taille des grains de la glace, et couvrant les **740.000 dernières années** ont été publiés **en 2004** (EPICA *community members*, *Nature*, 10 juin 2004). Les auteurs mettent en évidence **trois résultats majeurs**, à savoir :

- durant les **derniers 740.000 ans**, notre planète a subi **8 cycles climatiques**, alternant des périodes glaciaires et des périodes interglaciaires plus chaudes. Ils constatent un **changement brutal du rythme de ces cycles** aux alentours de **420.000 ans**. A partir de cette date, les périodes chaudes présentent des températures équivalentes aux actuelles, alors que les plus anciennes étaient légèrement plus froides ; constatation allant à l'encontre de ce que pensaient les scientifiques.

- La **période la plus chaude** se situe **vers 420.000 ans** et dure **20.000 ans**. On peut la considérer comme analogue à la période actuelle, car les conditions astronomiques, orbite et axe de la Terre qui influencent l'ensoleillement étaient identiques. Les scientifiques en concluent que la prochaine glaciation n'aura pas lieu avant plusieurs millénaires.
- Les analyses de la **composition des bulles d'air emprisonnées dans la glace** confirment que les **taux actuels des gaz à effet de serre atteignent le plus haut niveau jamais enregistré aux cours de ces 440.000 dernières années**.

Plus récemment ont également été publiées les variations passées des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) jusqu'à une date de **650.000 ans BP** (SIEGENTHALER et al., *Science*, 2005 ; Spahni et al., *Science*, 2005) prolongeant ainsi de près de **200.000 ans** les données recueillies dans la carotte de Vostok.

En juillet 2007, l'équipe de scientifiques publie, dans le magazine "*Science*", l'ensemble des résultats obtenu au **Dôme C**, après plus de dix ans de forage et plus de **6.000 analyses** d'échantillons et de carottes de glace.

Conclusions

Le **forage EPICA** a ainsi permis d'extraire une **carotte** glaciaire à **3.260 mètres** de profondeur révélant le climat des **800.000 dernières années**. Il s'agit de la plus ancienne reconstitution climatique à partir de carottes glaciaires, qui est deux fois plus ancienne que celles obtenues sur les **forages de Vostok (420.000 ans en 1999)** et de **Dôme Fuji (350.000 ans en 2003)**.

Le **forage** de plus de **3.000 m** de profondeur pratiqué dans la région de **Dronning Maud Land** a, de son côté, permis d'étudier de façon extrêmement détaillée le **couplage entre les climats des hémisphères Sud et Nord**.

Sur la base de ces différents résultats, on peut en retirer les enseignements majeurs suivants :

- Les **concentrations atmosphériques en CO₂ et CH₄**, actuellement atteintes et qui continuent à croître en raison des émissions anthropogéniques, **dépassent** déjà respectivement **de 27% et de 230 %** les **niveaux les plus élevés observés au cours des derniers 650.000 ans**.
 - Les **périodes interglaciaires antérieures à 430.000 ans**, qui sont moins chaudes que les suivantes, présentent des **concentrations en CO₂ et CH₄ plus faibles** que celles caractéristiques des quatre périodes interglaciaires les plus récentes. Cette information est climatiquement d'importance car elle indique que **la proportionnalité entre gaz à effet de serre et température antarctique est sensiblement conservée pour des modes climatiques différents**.
 - Dans les conditions couvertes par l'enregistrement, la réponse du cycle du carbone à un réchauffement climatique reste du même ordre en termes de mécanisme impliqué et de degré d'amplification du changement climatique par ces gaz à effet de serre.
- **Le projet NEEM**
Le **projet NEEM** est un projet de forage **profond dans la glace du nord-ouest du Groenland**, piloté par les Danois du *Niels Bohr Institute* de l'Université de

Copenhague et impliquant 14 nations (Danemark, USA, Allemagne, Belgique, France, Pays-Bas, Royaume Uni, Suisse, Suède, Islande, Canada, Japon, Corée et Chine). Il a débuté **en 2007** et se poursuit actuellement. Deux années de mise en place furent nécessaires avant d'entreprendre le forage proprement dit qui s'effectua lors de trois campagnes d'été. Le camp se situe à 650 Km du lieu habité le plus proche, à 2.500 m d'altitude par 78° de latitude nord.

Le **but** de ce projet est d'obtenir un **enregistrement climatique fiable des derniers 140.000 ans**, c'est-à-dire la totalité de la dernière période glaciaire et de l'Eémien, la période interglaciaire qui l'a précédée. Ce forage constituait un véritable défi. En effet, les forages profonds conduits précédemment au Groenland n'avaient permis de couvrir que les **derniers 100.000 ans** (pour les **forages GRIP** et **GISP** au sommet de la calotte) et **123.000 ans** (pour le **forage North GRIP**). Pour permettre aux nombreux scientifiques qui se sont succédé durant ces campagnes, d'effectuer leur mission, un important déploiement d'instrumentation scientifique a été mis à la disposition de ceux-ci.

Grâce à des détecteurs laser de dernière génération, ils ont pu mesurer en continu la **composition isotopique de la glace** couvrant la **période de -8.000 à -110.000 ans**. L'évolution de la **structure cristalline de la glace** (taille, forme, orientation des cristaux) a pu être également analysée sur place, permettant de comprendre l'écoulement du glacier, ainsi que le **contenu en impuretés chimiques** (aérosols désertiques, d'origine marine et continentale). Les **propriétés électriques de la glace** ont été aussi mesurées en continu, permettant de comprendre l'histoire des éruptions volcaniques majeures. Les carottes non analysées sur place ont été distribuées aux différents participants pour des études complémentaires.

Le **socle rocheux** a été atteint le **27 juillet 2010** à la profondeur de **2.537,36 m**. La **période interglaciaire** comprise **entre 120.000 et 130.000 ans** est caractérisée par une **température moyenne au Groenland** supérieure d'environ **5° C** par rapport à l'actuelle.

Les données récoltées permettent d'estimer quelle sera l'évolution du climat de cette région dans les décennies à venir, en fonction des rejets des gaz à effet de serre d'origine anthropique.

De plus elles donnent la possibilité aux glaciologues de calculer l'étendue de la calotte glaciaire groenlandaise à cette époque et d'en déduire l'évolution future du niveau des mers.

Une fonte totale de cette calotte ferait monter les eaux d'environ 7 m.

- **Le projet TALDICE (Talos Dôme Ice Core Project)**

Ce projet est l'un des maillons importants du **programme IPICS** (*International Partnerships in Ice Core Sciences*), mis en place pour l'Année Polaire Internationale **2007-2009**. Il prévoit la mise en place d'un réseau de nouveaux **forages sur des sites côtiers de l'Antarctique** et implique un consortium européen réunissant 18 nations.

Le **forage TALDICE** se déroula dans le cadre de la 23^{ème} expédition polaire italienne en Antarctique. Il impliqua des techniciens, ingénieurs et scientifiques de France, d'Italie, de Grande-Bretagne et un appui financier de l'Allemagne et de la Suisse.

L'**objectif** du forage TALDICE sur le **site de Talos Dôme** (secteur antarctique de la mer de Ross) est d'aider à résoudre l'une des énigmes de la **dynamique du climat lors de la dernière transition glaciaire – interglaciaires**. En effet, les enregistrements du climat à partir des carottes de glaces prélevées au Groenland et en Antarctique, lors des différentes campagnes, montrent une évolution différente des tendances climatiques aux deux pôles durant la dernière glaciation. Celle-ci, dénommée « **bascule bipolaire** », se traduit par des **réchauffements rapides et intenses au Groenland**, accompagnés d'un **début de refroidissement en Antarctique** se traduisant par une déglaciation interrompue par une stabilisation, voire une baisse, des températures.

Un enregistrement obtenu par les Américains sur **site de Taylor Dôme**, près de la plate-forme de glace flottante de Ross, suggère au contraire une tendance climatique similaire entre cette région côtière antarctique et le Groenland. Qu'en est-il réellement ? C'est ce que tente d'établir la campagne de forage à Talos Dôme.

Talos Dôme, qui se situe dans la Terre Northern Victoria aux abords de la mer de Ross, est l'un des points de départ de l'écoulement de la calotte glaciaire antarctique vers la côte. Ce glacier, situé **à 2.316 m d'altitude**, a une épaisseur totale estimée à **1.550 m**. La température moyenne annuelle y est de **-41°C** et les précipitations correspondent en moyenne à **8 cm d'eau par an**.

Après quatre saisons de forage, une équipe de 10 personnes a atteint, le **23 décembre 2007**, la profondeur de **1.619,20 m**, permettant un **enregistrement climatique couvrant les 250.000 dernières années**. Grâce aux nombreuses couches de cendres volcaniques (15) que renferme la carotte extraite, et aux enregistrements très précis du méthane piégé, les scientifiques ont pu établir une chronologie de grande précision. L'évolution climatique sur ce site a pu être comparée aux enregistrements du Groenland et du plateau antarctique.

La dernière transition glaciaire – interglaciaire se situe entre 700 et 1.000 m de profondeur.

Les carottes extraites ont été rapatriées en Europe pour être analysées par les différents laboratoires des nations impliquées dans le projet. Les données obtenues confirment bien le **phénomène de bascule bipolaire** et invalident les résultats obtenus au site de Taylor Dôme. L'évolution climatique à Talos Dôme, déduite de l'analyse des isotopes de l'eau (deutérium), s'avère similaire à celle

relevée au site de Concordia, situé sur le plateau antarctique. Par contre, elle s'écarte sensiblement de celle déterminée à la base allemande Köhnen (forage EDML), située face au secteur atlantique de la mer austral. Cette dernière montre un **ralentissement du réchauffement lors de la dernière déglaciation, entre -16.000 et -14.500 ans**, avec également une réduction du taux d'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère.

Ces disparités régionales dans l'évolution climatique sont la réponse à une réorganisation majeure de la circulation océanique à l'époque et reflètent vraisemblablement une évolution contrastée de l'étendue des glaces et des vents dans l'océan Austral.

Ces disparités régionales dans l'évolution climatique sont la réponse à une réorganisation majeure de la circulation océanique à l'époque et reflètent vraisemblablement une évolution contrastée de l'étendue des glaces et des vents dans l'océan Austral.

Conclusions

Les **comparaisons des résultats** entre les deux hémisphères mettent en évidence le **fonctionnement de la machine climatique mondiale** et le **phénomène de bascule bipolaire**.

Des **échantillons de glace** provenant des deux régions polaires montrent que les **climats locaux** ne sont **pas toujours identiques**. Il peut exister des déphasages de l'ordre du millier d'années.

Le **décalage** observé, entre un **sursaut climatique au Groenland et la réaction enregistrée en Antarctique** peut s'expliquer par les **mécanismes de communication climatique à l'échelle de la planète**. Et notamment par un important **transfert de chaleur entre les deux hémisphères** à la suite de la réorganisation de la circulation océanique entre l'Atlantique et l'océan Austral.

La **bascule bipolaire** caractérise également la dernière transition climatique depuis le maximum glaciaire jusqu'à l'interglaciaire actuel.

III. RESUME

Les prospections dans les **années 1990** au Groenland débutent par un véritable coup de tonnerre. Le **forage de Dye 3** met en évidence l'existence de **variations climatiques rapides**. Le site, proche de la côte, n'est pas idéal.

Aussi, deux projets, l'un européen, **GRIP**, l'autre américain, **GISP2**, visent à confirmer cette découverte dans la région centrale du Groenland, plus appropriée, car l'écoulement des glaces y est moins complexe. La comparaison des deux enregistrements révèle, sur les **300 derniers mètres**, l'existence de **perturbations liées à la proximité du socle rocheux**. Les carottes extraites, de **plus de 3 Km**, permettent de remonter à **près de 100.000 ans**. Elles mettent en évidence **25 événements**, dénommés « **Dansgaard-Oeschger** », caractérisés par un **réchauffement rapide et important**, jusqu'à **16° C** au centre du Groenland, suivi d'un **refroidissement plus lent**. La relation entre ces fluctuations et des

modifications de la circulation océanique dans l'Atlantique Nord (arrêt puis remise en route du Gulf Stream) est établie grâce à l'étude des sédiments marins. Les paléoclimatologues démontrent que ces variations ont des répercussions dans tout l'hémisphère nord et jusqu'au cœur de l'Antarctique.

Dans la logique du succès du forage GRIP, un **consortium européen** se crée sous l'appellation **EPICA** (*European Project for Ice Coring in Antarctica*) dans le but de réaliser **deux forages** sur des sites du plateau antarctique, l'un au **Dôme C** (station permanente française du Dôme Concordia) ; l'autre dans la région de **Dronning Maud Land** (région face à l'Atlantique). L'objectif de ces forages est d'obtenir des **enregistrements recouvrant les 500.000 dernières années et le dernier cycle climatique**.

En finale, malgré une première tentative infructueuse, le forage de **3.260 m** du **Dôme C** livre **800.000 ans d'archives**, soit près de deux fois plus que les enregistrements relevés à la station russe de Vostok. Les résultats mettent en évidence un **changement de rythme** il y a **400.000 ans**, non seulement pour le climat, mais également pour les concentrations en CO₂ et CH₄.

Aux **périodes interglaciaires** moins chaudes qui prévalaient **avant 450.000 ans** sont associées des valeurs en CO₂ moins élevées, si bien que la relation entre CO₂ et climat reste tout aussi étroite sur l'ensemble des **800.000 dernières années**. La période chaude qui a culminé il y a **420.000 ans** confirme les calculs des astronomes, à savoir que l'évolution naturelle du climat ne nous entraînerait pas vers une **nouvelle période glaciaire** d'ici **15.000 ans**. L'Antarctique réagit, à chaque changement rapide que connaît le Groenland, et en est un acteur. L'océan comme l'atmosphère peuvent servir de courroie de transmission.

D'autres **forages profonds** ont été réalisés au cours des dernières années, non sans problèmes. L'équipe de Copenhague prend, **en 1995** le leadership d'un nouveau projet international, **North GRIP**, **200 Km** plus au Nord. Mais après deux années, le carottier se bloque à un peu plus de **1.400 m** de profondeur et n'atteindra le fond à **3.085 m** qu'**en 2003**. Pour la première fois, le forage est exploitable jusqu'au fond peut-être à cause de la présence d'eau liquide à la base de la calotte ; il donne accès à de la glace de la précédente période interglaciaire qui s'avère avoir été plus chaude qu'actuellement. Les Japonais se tournent eux vers l'Antarctique, au **Dôme F**, site du secteur atlantique. À la deuxième tentative, le **socle rocheux** est atteint à plus de **3 Km en 2005** mais les analyses déjà disponibles montrent clairement que les **800.000 ans** ne seront pas dépassés.

IV. BIBLIOGRAPHIE ET SOURCES

http://fr.wikipedia.org/wiki/Base_antarctique_Vostok

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/paleo/vostok.html>

<http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/doctorat/these-parrenin.pdf>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/paleo/epica.html>

http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/piqb19/02_epica.htm

<http://iceblog.over-blog.com/article-19768570-6.html>

<http://www.actu->

[http://www.actu-environnement.com/ae/news/projet EPICA antarctique prix descartes UE 4706.ph](http://www.actu-environnement.com/ae/news/projet_EPICA_antarctique_prix_descartes_UE_4706.ph)

[p4](#)

http://www.ujf-grenoble.fr/1207042672016/0/fiche_article/

<http://www.actu-environnement.com/ae/news/628.php4>

http://fizeau.unice.fr/domecsky/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=3&lang=fr
<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/rechfran/4theme/paleo/calgroenland.html>
<http://www.insu.cnrs.fr/co/expeditions-et-campagnes/neem-north-greenland-eemian-ice-drilling>
http://losno.lisa.univ-paris-diderot.fr/Multiphase/Drab/Drab_These_Intro.pdf
<http://histoire-cnrs.revues.org/document5782.html#tocfrom2>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Dryas_r%C3%A9cent
<http://www.cnrs.fr/fr/une/docs/Communique-NEEM-Groenland-280710.pdf>
http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/special_pol/03/print_article_2597_fr.html
http://www.institut-polaire.fr/ipev/actualites/tout_public/des_nouvelles_du_terrain/le_projet_taldice_en_antarctique_1_620_metres_de_profondeur_a_talos_dome

MASSON-DELMOTE V. – *Climats du passé : l'apport des forages profonds dans les glaces polaires*, in *Rayonnement du CNRS*, n° 54 – juin 2010.

PARRENIN F. (2002) – *Datation glaciologique des forages profonds en Antarctique et modélisation conceptuelle des paléoclimats : implications pour la théorie astronomique des paléoclimats*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier – Grenoble I.