

# GLACIOLOGIE

## De la recherche à la protection de la planète

Créé en 1965, le Laboratoire de glaciologie  
et géophysique de l'environnement (LGGE) oriente

de plus en plus ses recherches sur les relations entre la vie des glaciers et le changement climatique. Du massif alpin au Groenland et à l'Antarctique, ses chercheurs jouent la carte de l'interdisciplinarité et multiplient les observations pour pouvoir faire face à une demande croissante de prévisions.

**D**u domaine universitaire de Saint-Martin-d'Hères, la vue sur les massifs du Vercors et de la Chartreuse ne peut qu'inspirer la confiance dans une nature puissante, inébranlable, au-delà des aléas provoqués par les activités humaines. Cependant, dans le Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE, CNRS/Université Joseph-Fourier), quarante ans de recherches mettent à mal les certitudes. Des analyses chimiques des bulles d'air prisonnières de la glace aux mesures des vitesses d'écoulement des glaciers, elles alimentent aujourd'hui la réflexion sur des enjeux de société majeurs : climat, environnement, risques naturels...

Centré à sa création, en 1965, sur l'étude du processus d'écoulement des glaciers, le LGGE se diversifie dans les années 1980, quand il est rejoint par l'équipe de Claude Lorius. Il développe alors des activités autour des pôles et enrichit son approche du climat et de l'atmosphère de recherches en paléoclimatologie dans les milieux polaires. Cette étude des climats du passé comme l'étude physique et mécanique du matériau glace mettent aujourd'hui en lumière, à la faveur des grands débats sur le réchauffement climatique, toute l'utilité de la recherche fondamentale, comme le souligne Michel Fily, directeur du LGGE :

© J.M. BORNAREL / IGN



© CNES (2003) / DISTRIBUTION SPOT IMAGE / TRAITEMENT CNES-LÉGOS.

► Spectromètre de masse à rapport isotopique Finnigan MAT253, dédié aux mesures atmosphériques et aux carottes de glace (à gauche). Appareil dédié aux mesures de dioxyde de carbone (à droite).

## EN CHIFFRES

► **PERSONNEL** : 40 chercheurs et enseignants-chercheurs, 20 ingénieurs, techniciens, administratifs, 25 étudiants en thèses et visiteurs.

► **MOYENS** : 400 000 €/an de soutien de base du CNRS et de l'université. 1 500 000 €/an de contrats : Europe, Agence nationale de la recherche, Ademe, Région... Soutien de l'Institut polaire (IPEV) pour les missions polaires.



*« Ces recherches, que nous ne pouvons mener qu'avec le soutien de l'Institut polaire tant les missions aux pôles sont coûteuses, sont essentielles. Qu'il s'agisse de la mer de Glace ou de la banquise, la recherche repose sur le triptyque mesure sur le terrain, expérimentation en laboratoire, modélisation. Il faut de la modélisation pour prévoir le futur, tels les scénarios en Antarctique ou les simulations*

*d'écoulement de glaciers. Mais il faut un retour constant sur le terrain, car il est des phénomènes qu'aucun modélisateur n'aurait pu prévoir, comme le trou dans la couche d'ozone ou la fonte brutale des glaciers du Groenland... »*

## LES GLACIERS ALPINS

La fonte glaciaire, à l'abri de toute source de pollution, étant un bon indicateur des variations climatiques, les recherches du LGGE s'orientent de plus en plus sur la relation entre la vie des glaciers et le changement climatique. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de l'Observatoire de recherche en environnement GLACIOCLIM qui étudie des glaciers représentatifs de trois zones climatiques (tropicale, tempérée et polaire) afin d'homogénéiser les mesures glacio-météorologiques. Sur le massif alpin, le LGGE dispose d'un atout de taille pour retracer l'histoire des fluctuations de volume glaciaires et donc des variations climatiques, explique Christian Vincent, qui consacre ses recherches au thème « Climat moderne et observations glaciologiques ».

*« Nous avons la chance de disposer de cartes topographiques au 1 : 10 000 et au 1 : 20 000 établies au début du siècle par la famille Vallot, le Service géographique de l'Armée, des universitaires grenoblois... À partir de ces documents, des campagnes aériennes de l'IGN réalisées depuis 1949 sur le Mont-Blanc et de 1953 sur les autres glaciers, ainsi que de mesures récentes, nous*



► Vue 3D sur le Mont-Blanc et la mer de Glace réalisée par le Laboratoire d'étude en géophysique et océanographie spatiales (Légos).



► Mesures GPS sur le glacier d'Argentière pour déterminer les vitesses d'écoulement du glacier à partir de balises implantées en profondeur dans la glace.

avons pu reconstituer les variations de volume glaciaires de plusieurs glaciers sur un siècle. »

Les mesures réalisées par le laboratoire portent d'abord sur les variations de masse de cinq glaciers alpins : mer de Glace, Argentière, Gébroulaz, Saint-Sorlin et Sarennes. Au printemps, l'équipe de Christian Vincent y opère des carottages de cinq à huit mètres de profondeur pour mesurer la quantité de neige tombée entre octobre et mai, la qualité et la densité du manteau neigeux.

À la fin de l'été, d'autres carottages et des balises implantées en profondeur dans le glacier permettent de mesurer la fonte estivale. Le bilan de masse qui en résulte reflète directement le climat. Par ailleurs, les mesures des variations de longueur, d'épaisseur et de vitesse d'écoulement, réalisées à l'aide de balises et de GPS différentiel, notamment, permettent d'estimer les flux d'énergie atmosphérique : « À partir de la carte du massif du Mont-Blanc de Vallot, nous avons pu établir un bilan de masse cumulé de 1900 à 2006 : - 24 mètres de glace sur toute la surface, soit - 22 mètres d'eau avec une chute marquée entre 1980 et 2000, due de toute évidence à une succession d'étés chauds. On a ainsi pu quantifier la fonte en flux d'énergie en surface : 24 W/m<sup>2</sup> en vingt-quatre ans. C'est une hausse énorme au niveau du climat ! », annonce Christian Vincent.

#### DU TERRAIN À LA MODÉLISATION

Le climat pose des questions qui dépassent de loin celle de la température. Il est la résultante

d'échanges énergétiques, du rayonnement solaire, de l'humidité, du vent, des rayonnements infrarouges dus aux gaz à effet de serre, avec des rétroactions très fortes et extrêmement complexes dont la température n'est qu'une des résultantes. « *Tous ces paramètres agissent sur la fonte des glaciers et rendent les prévisions très fragiles. Cependant, des augmentations similaires du taux de fusion journalier - et donc du flux d'énergie en surface - ont été enregistrées à Sarennes et à Clariden (Suisse), ce qui confirme qu'il s'agit d'une tendance globale sur le massif alpin.* », poursuit-il.

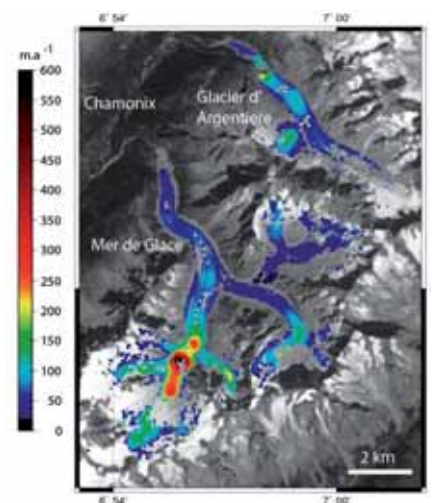
À partir de ces observations, les chercheurs du LGGE ont développé un outil de modélisation numérique des bilans de masse et des écoulements glaciaires qui prend en compte les multiples composantes météorologiques et qui est donc capable de décrire l'hétérogénéité d'un glacier, son évolution récente et sa sensibilité au climat. Ainsi, sur un glacier moyen, une augmentation de 1°C de température a le même impact qu'une augmentation de 44 % de l'humidité, de 22 % du rayonnement solaire ou qu'une réduction de 28 % des précipitations. C'est en tenant compte de ces facteurs, qui ne sont pas négligeables dans le changement climatique, que le LGGE a simulé le comportement, d'ici la fin du siècle, de glaciers comme celui de Saint-Sorlin qui culmine à 3 400 mètres. Selon un scénario climatique « modéré »<sup>(9)</sup>, à savoir + 3°C d'ici 2100, le glacier va progressivement

### DÉCRYPTAGE

## > Outils et techniques du glaciologue

- **CARTES** anciennes et leurs restitutions photogrammétriques, les photos et les campagnes photo aériennes successives... pour retracer l'historique du glacier.
- **30 À 50 SITES D'OBSERVATION** (balises et carottages) sur chacun des glaciers pour déterminer les bilans de masse hivernaux et estivaux et les fluctuations glaciaires.
- **GPS DIFFÉRENTIEL** pour mesurer le déplacement et les vitesses de déplacement des balises.
- **STATIONS MÉTÉO** pour mesurer les différents flux d'énergie à la surface de glacier.
- **IMAGES SATELLITAIRES** (Spot 1, 2, 4; Landsat 5, 7; Aster) pour déterminer la position de la ligne de névé (données validées par des mesures de terrain). Les données Spot 5 (à 2,5 m de résolution) et les MNT à haute résolution sont prometteurs, comme la technique des MNT différentiels Spot 5\*.
- **INTERFÉROMÉTRIE\*** pour reconstituer les vitesses d'écoulement de précision centimétrique.

\* Techniques exploitées par le LGGE en collaboration avec les chercheurs du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (Légos) de Toulouse.



► Champs de vitesse de la mer de Glace et du glacier d'Argentière, été 2003 (Légos). in Berthier E., Vardon H., Baratoux D., Arnaud Y., Vincent C., Feigl K. L., Rémy F. and Legrésy B. Mountain glaciers surface motion derived from satellite optical imagery, Remote Sensing Environ., 1995 (3), 2005.



► Observations topographiques sur le glacier de la mer de Glace, qui fait partie du réseau du Service d'observations des glaciers, géré par le LGGE et financé par l'Institut national des Sciences de l'univers. Sur les cinq glaciers du réseau, on mesure les bilans de masse, les vitesses d'écoulement, les variations d'épaisseur.

© C. VINCENT/LGGE

## DÉCRYPTAGE

### > MNT du massif du Mont-Blanc

► **LE MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN (MNT)** du massif du Mont-Blanc réalisé par l'IGN au début des années 1980 a pu être comparé à celui réalisé par la Régie des données du département de la Haute-Savoie (RGD 74) en 1998. Le recul des glaciers, en moins de 20 ans, apparaît de façon flagrante avec des réductions d'épaisseur souvent supérieures à 10 mètres.

disparaître. Un risque qui ne devrait pas toucher la mer de Glace ni les glaciers situés à plus de 4 000 mètres.

#### PRÉVENTION DES RISQUES

En 1892, une poche d'eau qui s'était formée sous le glacier de la Tête-Rousse s'est brutalement libérée, dévastant la vallée et l'établissement thermal de Saint-Gervais. Bilan: 175 morts. Depuis, on entretient une galerie creusée dans le rocher pour vidanger la poche d'eau et prévenir toute nouvelle catastrophe. Au cours de leurs mesures sur le terrain, les chercheurs du LGGE, qui sont aussi des hommes de la montagne, veillent sur d'autres phénomènes à risque. Ainsi, dans le massif de la Vanoise, un lac s'est formé en surface au sommet du glacier de Rochemelon. À partir des photos aériennes de l'IGN, on a pu dater sa formation dans les années 1950. D'une mare entre la crête rocheuse et le glacier, il a atteint 600 000 m<sup>3</sup> en août 2004, affleurant à -50 cm au niveau du col. Les risques de débordement décelés par l'équipe de Christian Vincent ont déclenché des travaux de siphonnage d'urgence dès l'automne 2004 et une vidange totale en été 2005.

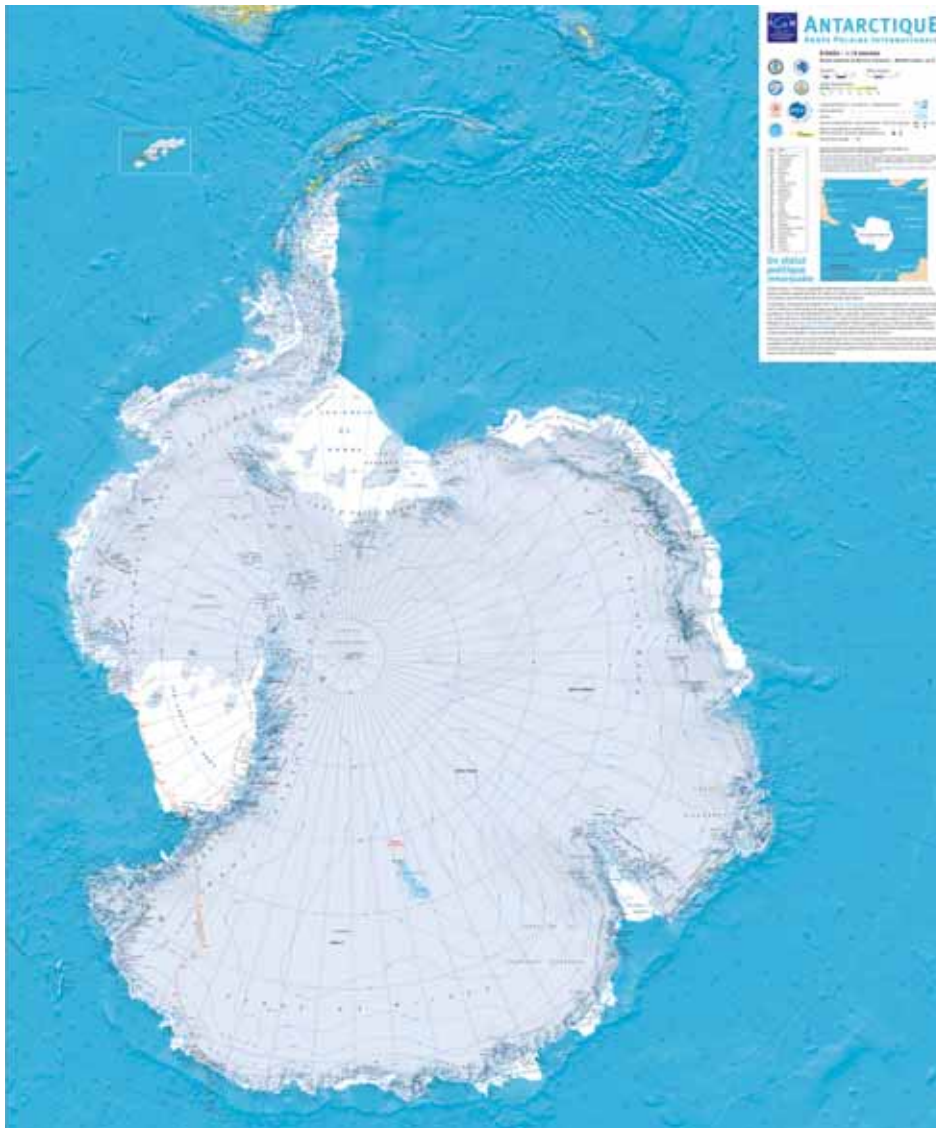
Dans le cadre du programme européen Glaciorisk, le LGGE réalise encore des études relatives à d'autres dangers d'origine glaciaire: les lacs formés par les dépôts de moraines sur le front des glaciers présentent un danger de rupture s'ils n'ont pas d'exutoire naturel; il faut alors créer un chenal artificiel. Et puis, avec le réchauffement climatique, les risques de déstabilisation des séracs sont accrus. Deux années d'observation de la chute de séracs de Tacconnaz, dans la vallée de Chamonix, ont permis de préciser les zones les plus actives et les risques de rupture. Malgré les protections mises en place dans les années 1990 (digues et dents déflectrices), la menace demeure mais les chercheurs ne peuvent pas prévoir quand elle se fera imminente...

1. Le pronostic du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), dans son dernier rapport de février 2007, se situe entre +1,8 à +4 °C d'ici la fin du siècle par rapport à la période 1980-1999, en fonction des scénarios d'émission de gaz à effet de serre.



© IGN

➤ La carte de l'Antarctique éditée par l'IGN à l'occasion de l'année polaire. Elle est présentée au public à la Cité des Sciences et de l'Industrie à Paris, porte de la Villette, jusqu'au 24 juin 2007.



© IGN

**DÉCRYPTAGE**

➤ **Années polaires**

➤ **POUR EN SAVOIR PLUS** sur les expéditions internationales et la glaciologie.

- <http://www.institut-polaire.fr>
- <http://www.lgge.ujf-grenoble.fr>
- <http://www.legos.obs-mip.fr>
- <http://www-lsce.cea.fr>



➤ Etalonnage des théodolites au cours de l'Expédition glaciologique internationale au Groenland, en 1968.

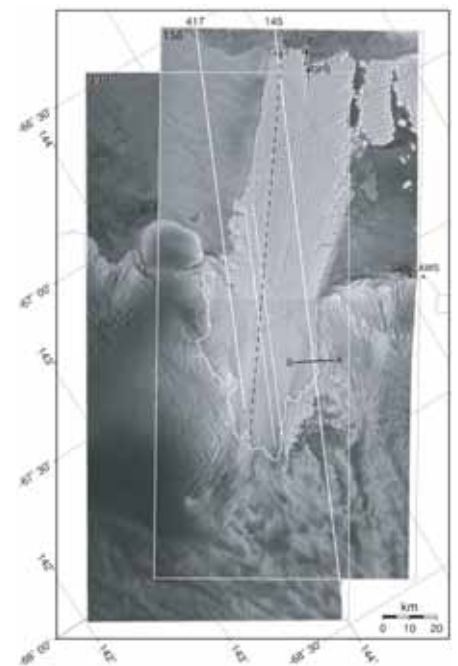
© PIERRE FRENAY/IGN

# LES PÔLES, MÉMOIRES DE L'ATMOSPHÈRE

**E**n régions polaires aussi, l'activité de modélisation numérique du climat du LGGE vise à participer au progrès de la prévision climatique. Le continent antarctique et le Groenland contiennent 33 millions de kilomètres cubes de glace. Elle provoquerait, si elle fondait, une élévation de 70 mètres du niveau des mers. Cette masse et ses variations sont une source de connaissance du passé et des prévisions futures qui préoccupent actuellement les scientifiques, comme l'explique Frédéric Parrenin, chargé de recherche au LGGE: « *L'évolution de la calotte de glace de l'Antarctique en particulier, puisqu'elle*

*représente un masse dix fois plus importante que la banquise, est déterminante. La question qui se pose aujourd'hui, après 3 000 ans de stabilité, est de savoir si les icebergs qui s'en détachent sont le signe de la fonte des calottes ou si, au contraire, les précipitations augmentant avec le réchauffement climatique, elles vont les épaissir.* »

Cette question est vitale pour les régions menacées d'immersion: le niveau de la mer a varié de plus de 100 mètres au gré des alternances glaciaires et interglaciaires au cours des derniers millions d'années. Pour →



© BENOIT LEGRESY/LÉGOS

➤ Mosaïque d'images SAR du glacier Mertz (Antarctique de l'Est) obtenue à partir des satellites ERS. En blanc, la position de ligne d'échouage où la glace commence à flotter sur l'océan.



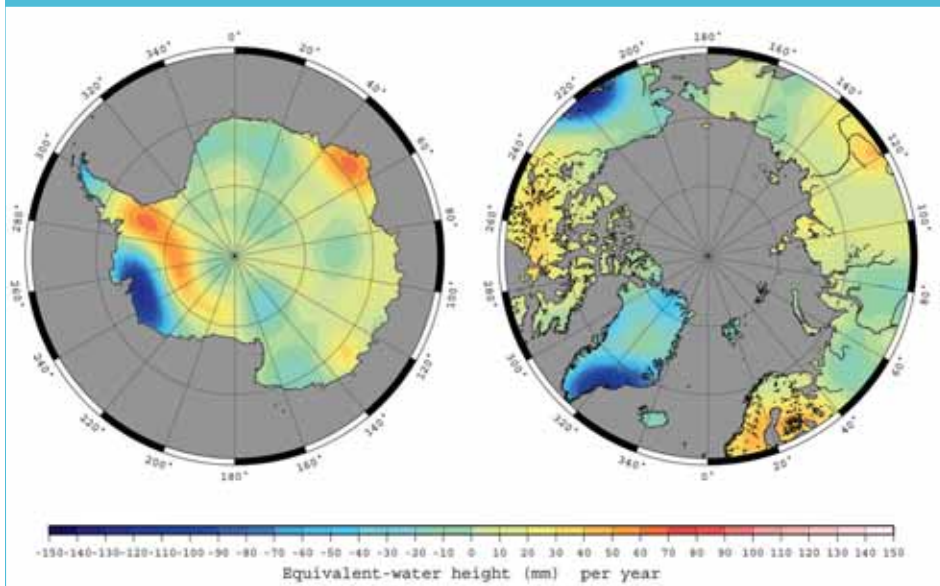
© CEA / CNRS

## LA GLACIOLOGIE, UN TRAVAIL D'ÉQUIPES

Le LGGE est associé à deux équipes d'autres laboratoires de recherche dont les activités sont également centrées sur la glaciologie.

➔ **L'équipe GLACCIOS** du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) de Gif-Sur-Yvette est spécialisée dans la reconstruction des climats passés à partir des carottes de glace. Les analyses effectuées dans cette équipe sont complémentaires de celles effectuées au LGGE.

➔ **L'équipe Cryosphère Satellites** du Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS) de Toulouse est spécialisée dans l'observation par satellite de la cryosphère (banquise, glaciers de montagne, calottes polaires, surfaces continentales enneigées). Le LEGOS bénéficie en particulier de relations étroites avec le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES).



➔ Distribution géographique des variations de masse des deux calottes polaires d'après Grace entre mi-2002 et mi-2005. Les contributions correspondant à la montée du niveau marin sont de 0,3 mm/an pour le Groenland et 0,2 mm/an pour l'Antarctique.

y répondre, les chercheurs doivent mesurer l'évolution de la quantité de glace stockée, ou bilan de masse. Trois modes de mesure sont utilisés : l'évolution du volume, l'évolution de la masse, la différence des flux.

### PERTE DE VOLUME

On estime les variations de volume à partir des mesures satellitaires de l'altitude de surface des calottes polaires et après correction de deux paramètres : les variations d'altitude du socle rocheux et les variations de hauteur du névé (une centaine de mètres de neige en cours de transformation en glace).

Le Légos a exploité les données altimétriques fournies par les satellites ERS1 et ERS2 (radar + interférométrie + laser réflecteur géodésique) révélant ainsi que le Groenland aurait fondu sur les bords et épaissi au centre, perdant moins de 50 Gt/an. L'Antarctique de l'ouest aurait souffert d'une perte de 50 Gt/an alors que l'est bénéficierait d'un léger gain de masse dans sa partie centrale.

### VARIATIONS DE MASSE

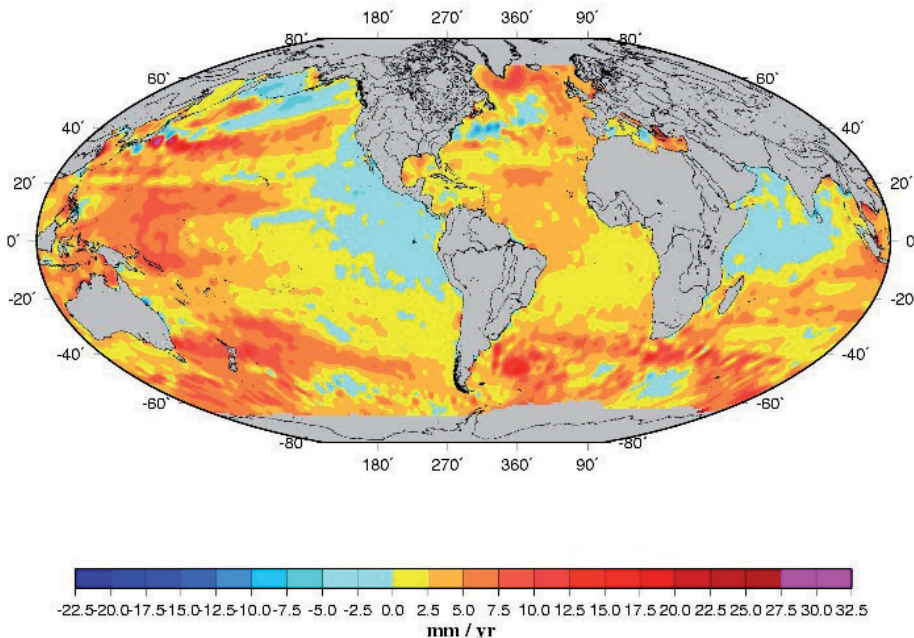
L'évaluation de la masse repose sur les mesures par satellite du champ de gravité. Le Légos utilise les données du satellite gravimétrique Grace (lancé par la Nasa en mars 2002) qui lui ont permis de mettre en évidence une nette perte de masse du Groenland (équivalant à une élévation de 0,2 mm/an du niveau de la mer) et de l'Antarctique de l'ouest mais un léger gain de la partie est de la calotte.

Il s'agit de données corrigées, précise Frédéric Parrenin : « Elles prennent en compte d'autres phénomènes à l'origine du changement de masse : colonne d'air présente au-dessus de la calotte, socle rocheux sous-glaciaire, masses d'eau continentale ou océanique présentes à proximité de la calotte... Mais il reste des incertitudes importantes. Les données gravimétriques divergent des estimations par altimétrie. »

### DIFFÉRENCES DE FLUX

Pour mesurer la différence entre flux entrant et sortant, les scientifiques recourent à différentes techniques : l'accumulation de

© GUILLAUME RAMILLIEN / LÉGOS



► Tendance de l'élévation du niveau des océans par zones géographiques à partir des mesures faites par le satellite Topex-Poséidon sur dix années à partir de 1993.

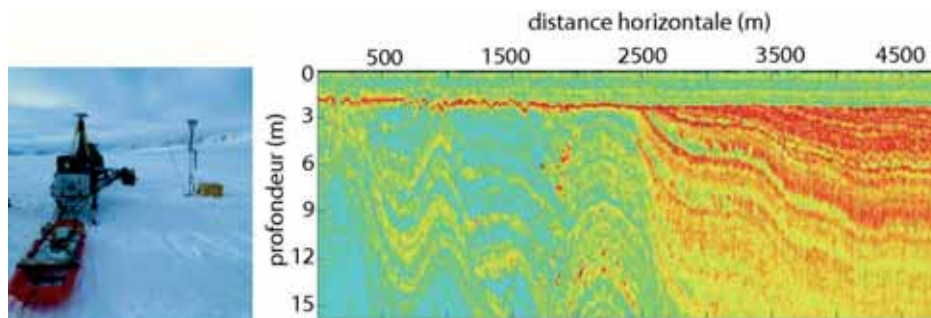
neige et la fonte de surface sont estimées par des données de terrain et par des modèles. Les rejets vers l'océan sont estimés grâce à des mesures de la vitesse de surface de la glace et de son épaisseur à proximité de la côte.

« La glace s'écoule en ramifications comparables à des fleuves. On peut en mesurer le flux, les vitesses étant à peu près uniformes, par satellite, interférométrie, corrélation d'images. C'est au Groenland que le phénomène est le plus probant : l'augmentation de l'ablation et l'accélération de l'écoulement glaciaire ont provoqué un amincissement des régions côtières très rapide entre 1995 et 2000 », révèle Frédéric Parrenin.

#### RETOUR SUR LE PASSÉ

Aux sceptiques comme aux irréductibles optimistes attachés au mythe de Gaïa, d'une terre capable de se défendre et de stabiliser son climat, les chercheurs du LGGE opposent les résultats des études menées à partir des carottes glaciaires. Ainsi le forage de Vostok en Antarctique (profond de plus de 3 600 mètres) a permis de repérer la

fin de la dernière glaciation vers -15 000 ans (comme à Dôme C), mais aussi de reconnaître un précédent interglaciaire vers -120 000 ans et la glaciation antérieure vers -140 000 ans. À partir de cette carotte, le LGGE a pu retracer l'histoire de la composition de l'atmosphère en gaz carbonique et en méthane, l'évolution de la chimie de l'atmosphère, de la circulation atmosphérique. 120 000 ans au Groenland, 800 000 ans à Dôme C, et peut-être 1,5 à 2 millions d'années de mémoire reconstituée grâce aux nouveaux forages qui seront effectués en Antarctique dans les années à venir. Les forages donnent déjà des éléments de prévision, résume Frédéric Parrenin : « Une des conclusions de ces forages, c'est la corrélation étroite entre la température de la terre et la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les variations des gaz à effet de serre au cours des cycles interglaciaires en attestent. Plus leur concentration est élevée, plus il fait chaud. Plus il fait chaud, plus il y a de gaz à effet de



► Des mesures radar sur le terrain (ici sur le glacier Pirlletta du Spitzberg) sont indispensables pour étudier l'interaction des ondes avec le manteau neigeux et donc interpréter les mesures satellitaires. Un des objectifs de ces études est de déterminer les taux d'accumulation, l'un des paramètres climatiques le moins connu sur le continent Antarctique.

© ANNY CAZENAIVE / LÉGOS

serre. Ce mécanisme naturel peut s'emballer si l'activité humaine vient l'influencer. »

#### PRÉVISIONS

Ces résultats sont pris en compte dans le quatrième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en février 2007, qui réaffirme que « les concentrations mondiales actuelles de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont crû de façon notable par suite des activités humaines depuis 1750 et dépassent maintenant largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace couvrant plusieurs milliers d'années. »

Si la prise de conscience est aujourd'hui largement partagée, on n'est qu'au début du chemin, prévient Michel Fily : « Pour faire de la prévision du climat, il faut aller encore plus loin dans l'étude de l'atmosphère. D'autant que la demande en prévisions va se faire non seulement plus forte mais plus affinée à l'échelle régionale. Seule la coopération via les programmes européens et les partenariats internationaux permettra d'y répondre. Avec "Damoclès", par exemple, programme européen d'étude sur l'interaction chimique glace-océan-atmosphère. Il nous faut aussi organiser une vraie politique de site : notre situation sur le campus de l'université Joseph-Fourier est un grand atout pour jouer à fond la carte de l'interdisciplinarité. »

Le dialogue entre physiciens, mathématiciens, géologues, chimistes, biologistes... est ainsi appelé à s'ouvrir à d'autres laboratoires et à d'autres disciplines, conformément aux objectifs de la nouvelle année polaire. Au programme de cette année pour le LGGE : un grand raid en Antarctique, un forage au Groenland, une étude sur les glaciers émissaires (qui vont former les icebergs), une étude des lacs sous-glaciaires sur la microbiologie en milieu extrême... ■

© CNRS PHOTO THÈQUE / JOÏL SAVARINO / JOÏL SAVARINO / XAVIER FAIN



© PASCAL LACROIX / LÉGOS



## LE GPS EN ANTARCTIQUE

LE SENS DE LA MESURE

Aujourd'hui chargée de recherche au Laboratoire de recherche en géodésie de l'IGN (Lareg), Marie-Noëlle Bouin a consacré sa thèse\* à l'étude du comportement de la calotte glaciaire antarctique par la technique de la géodésie satellitaire. Faute de mesures directes précises de l'épaisseur de la calotte à l'échelle du continent, c'est en mesurant les mouvements de la charge glaciaire et ses répercussions sur la position de la croûte terrestre qu'elle a pu retracer son évolution. Grâce au GPS, technique de précision subcentimétrique, et aux dix stations permanentes du réseau IGS (International GNSS Service). Depuis, peu de publications ont été consacrées au GPS en Antarctique car, explique Marie-Noëlle Bouin, « les enjeux sont tels que personne ne se risque à faire de prédictions sans recoupement des mesures par différentes technologies : GPS, gravimétrie terrestre, gravimétrie spatiale, altimétrie radar... Toutes ces technologies mesurent la même chose : le rebond glaciaire, l'épaisseur, la vitesse... avec des outils développés il y a vingt à trente ans à des fins toutes différentes. Aujourd'hui, j'utilise le GPS pour la compréhension de la mousson africaine ou des cycles sismiques aux Nouvelles-Hébrides. Ces applications imprévues rappellent les potentialités de la recherche fondamentale. »

\* Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure, 1999

DR



©BERNARD DELBÉY/IGN

## YVES EGELS, L'IGN EN MISSION

**C**ette année polaire sera marquée par une mission sans précédent. À bord d'un dirigeable, l'explorateur Jean-Louis Étienne va mesurer l'épaisseur de la banquise avec un nouvel outil conçu par les ingénieurs de l'Alfred Wegener Institut, l'Institut polaire allemand : l'EM-Bird. Cet « oiseau électromagnétique » survolera la glace à une altitude d'une quinzaine de mètres, un altimètre laser mesurant la distance entre l'appareil et la surface. En même temps, par émission d'ondes électromagnétiques basse fréquence, se dessineront les dénivelés du fond de la glace. La différence entre les deux courbes donnera l'épaisseur de la banquise. L'IGN participe à cette première en la personne d'Yves Egels. Au sortir d'un bilan de santé indispensable pour affronter le grand froid, il a précisé le projet.

► **IGN MAGAZINE : QUEL SERA VOTRE RÔLE DANS L'EXPÉDITION ?**

► **YVES EGELS :** En fait, j'interviens avant l'expédition, qui ne démarrera du Spitzberg qu'en avril 2008. Comme l'EM-Bird est un appareil entièrement nouveau, il faut qualifier la méthode. Dès ce printemps, donc, le capteur transporté par hélicoptère procédera à ses premières mesures. Mon travail, au sol, consistera à faire un relevé topographique et un MNT de la partie émergée sur trois ou quatre zones tests de un à deux hectares. Je donnerai les bases à un petit robot sous-marin chargé du MNT de la partie immergée. On

pourra ainsi vérifier sur le terrain le calcul de la courbe d'épaisseur de l'EM-Bird.

► **IGN MAG : QUELLES DIFFICULTÉS PRÉVOYEZ-VOUS ?**

► **Y.E. :** Ce sera, pour l'EM-Bird, de recaler des données très hétérogènes : les mesures de la surface extérieure portant sur des zones très ponctuelles alors que, pour la surface immergée, elles portent sur des zones assez larges.

► **IGN MAG : ET SUR LE PLAN PRATIQUE ?**

► **Y.E. :** L'effet du froid (-30 °C) sur mes appareils est une inconnue. Récepteurs GPS de qualité géodésique, laser terrestre, théodolites, appareil photographique numérique : même les constructeurs ne savent pas. Je prépare des protections et des procédures de mise en route. De toute façon, après mes missions de photogrammétrie au Cambodge, au Salvador ou au Yémen, j'ai l'habitude d'improviser, même dans des situations extrêmes.

► **I + I** [www.jeanlouisetienne.com/polearship](http://www.jeanlouisetienne.com/polearship)



DR

