

■ **LE CONTEXTE** ■ Le réchauffement du climat va-t-il bientôt provoquer la fonte des glaces polaires et une élévation catastrophique du niveau de la mer ? Véhiculé par les médias, entretenu par des lobbies et par quelques scientifiques, ce point de vue ne reflète pas la somme de connaissances que les chercheurs ont accumulées ces dernières années. Pour

le comprendre, il faut entrer dans la subtilité d'une dynamique qui met en jeu un très grand nombre de facteurs et des variations dans l'échelle du temps portant sur des dizaines de millénaires. Comme pour la plupart des sujets hypercomplexes, le meilleur guide que puisse s'offrir l'explorateur amateur est celui qui l'oblige à ne perdre de vue ni les

données de base ni les ordres de grandeur pertinents. Ainsi, un glaçon qui fond dans un verre ne fait pas monter le niveau de l'eau. C'est dire que la banquise arctique ne rentre guère en ligne de compte. Ainsi encore, le gros de la calotte antarctique n'a pas fondu depuis sa formation, voici 60 millions d'années...

Les pôles fondent-ils ?

Si la glace qui recouvre l'Antarctique fondait, la mer s'élèverait de 70 mètres, et la tour Eiffel barboterait dans l'eau. Mais pourquoi diable l'énorme calotte fondrait-elle ? A l'échelle des dizaines de millénaires qui est celle de ce monstre vénérable, le réchauffement climatique est, pour l'heure, une pichenette sur le dos d'un rhinocéros...

Olivier Postel-Vinay

Nous remercions
Catherine Ritz,
du laboratoire de
glaciologie et géophysique
de l'environnement
du CNRS à Grenoble,
pour sa relecture
du contenu scientifique
du présent article.

En mars 2002, à la fin de l'été austral, une plaque de glace grande comme presque la moitié de la Corse se détache de la zone de Larsen, dans la Péninsule antarctique, au nord-ouest du continent. Elle se disloque en multiples icebergs. De superbes images satellite déferlent sur les médias. « *La mer monte, les glaciers craquent*, lit-on dans les gazettes. *C'est, à ce jour, le signe le plus visible du réchauffement de la planète.* » L'événement « *semble lié au réchauffement climatique* », titre *Le Monde*, reprenant les propos d'un climatologue français.

Ce n'est pas la première fois que le glacier de Larsen fait parler de lui. Il s'en faut. Sept ans plus tôt, à la même période de l'année, un événement de moindre ampleur mais du même type s'était produit au même endroit, déclenchant

la même vague médiatique : « *Un morceau de la taille d'un petit pays s'est détaché de l'Antarctique ; le continent glacé se réchauffe* », titrait, par exemple, le magazine *Time*. Entre-temps, un show avait été organisé par Klaus Toepfer, le directeur du programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) – l'un des deux organismes à l'origine du GIEC*, l'organisme international chargé de faire la synthèse des recherches sur le changement climatique. Nous sommes en février 2001. Les ministres écoutent soudain en direct la voix de Sir Peter Blake, voguant au large du glacier de Larsen sur son yacht *Seamaster*, sponsorisé par le PNUE : « *Nous voici en eau libre dans une zone normalement prise par les glaces à cette époque de l'année.* » Se référant aux derniers travaux du GIEC, Klaus Toepfer explique aux ministres : « *On prévoit que le changement*



CES ICEBERGS EN MER DE WEDDELL, à l'est de la Péninsule antarctique, se trouvent dans une zone où l'océan et l'atmosphère se réchauffent. © IWAGO/JOEL HALIOUA

climatique dans les régions polaires sera parmi les plus grands à la surface de la Terre et aura des conséquences majeures sur le plan matériel, écologique, sociologique et économique. » Titre du communiqué de presse du PNUE : « *Des explorateurs en Antarctique découvrent de nouvelles preuves du réchauffement global.* »

Nos lecteurs se souviennent peut-être aussi qu'à l'été 2000 un brise-glace russe emmenant des touristes, mais aussi des scientifiques de haut niveau, s'était retrouvé en mer libre pile au pôle Nord. L'un des chercheurs présents sur le bateau était James McCarthy, l'un des principaux responsables du GIEC. Il avait fait part de sa stupeur au *New York Times* : du jamais vu ! La bonne presse américaine publia un éditorial de Lester Brown, le médiatique secrétaire du Worldwatch Institute : « *La découverte d'eau libre*

au pôle Nord apporte une nouvelle preuve non seulement que la couverture de glace de la Terre fond, mais qu'elle fond à un rythme accéléré. » [1]

Bref, il est dans toutes les têtes que le réchauffement climatique est en train de s'attaquer aux glaces des pôles, et que nous filons un mauvais coton. Que sait-on vraiment, et que faut-il en penser ?

Principe d'Archimède

Rappelons d'abord quelques faits de base et ordres de grandeur. Pour commencer, si la crainte est celle d'une élévation du niveau de la mer, la banquise arctique n'a aucune importance. Elle a beau représenter vingt-cinq fois la superficie de la France en hiver et encore treize à quatorze fois à la fin de l'été, elle flotte [fig. 1]. En vertu ⇨

■ **GIEC** (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) est le sigle français de l'IPCC (International Panel on Climate Change). L'IPCC a été créé en 1988 par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation météorologique mondiale.

[1] *La Recherche*, octobre 2000, p. 114

*On parle d'**Antarctique est et ouest** en raison de l'habitude de se référer au méridien de Greenwich. On ne peut en aucun cas parler d'Antarctique « nord » ou « sud » !

⇒ du principe d'Archimède, elle n'a donc pas d'incidence sur le niveau de la mer. La surface de la banquise qui entoure l'Antarctique, à laquelle se référerait Sir Peter Blake sur son *Seamaster*, passe, elle, de sept fois à trente-six fois la surface de la France entre l'été et l'hiver. C'est dire l'ampleur des déplacements qui se produisent. Sa fonte n'aurait pas non plus d'incidence directe sur le niveau de la mer. Elle aurait une incidence indirecte, cependant, car elle joue localement un rôle stabilisateur pour certaines des immenses masses glaciaires qui recouvrent le continent antarctique.

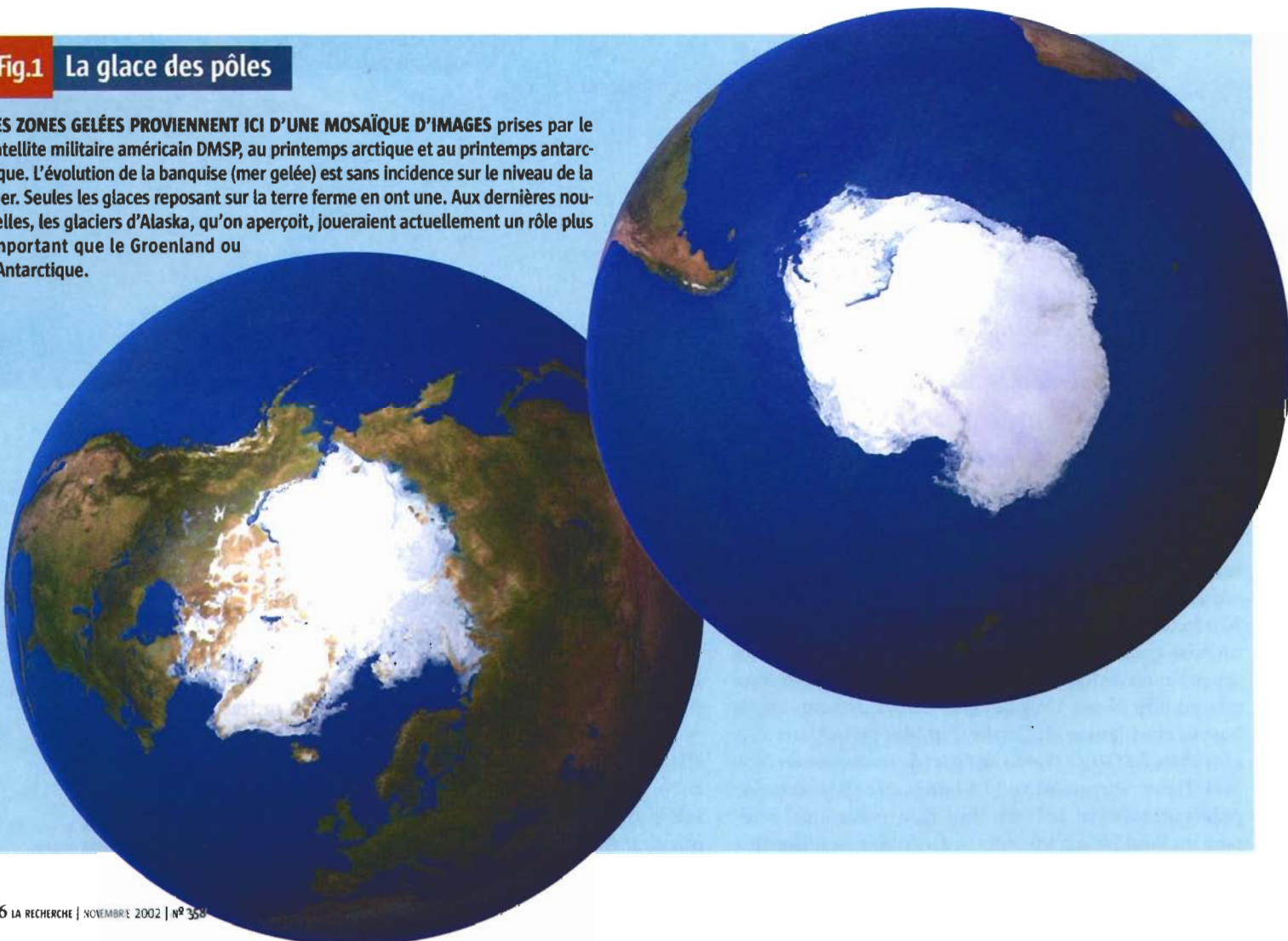
– 70 °C en hiver, – 50 °C en été

Pour le niveau de la mer, ce qui compte, en effet, c'est l'évolution des glaces continentales. Mais lesquelles ? Les glaciers de montagne ? Ils ne représentent qu'un millième du volume total des glaces. Les deux principales masses de la « cryosphère » sont la calotte antarctique (90 % du total) et la calotte recouvrant la majeure partie du Groenland (10 %). Si les glaces de l'Antarctique et du Groenland fondaient complètement, le niveau de la mer s'élèverait de 70 mètres : le palais de l'Élysée serait englouti ! Pour apprécier ce risque, voyons ce que représentent réel-

lement ces masses de glace, et les conditions dans lesquelles elles évoluent. La plus grande, et de loin, est celle de l'Antarctique est*. Elle s'étend sur 10 millions de km² (dix-huit fois la France) et représente à elle seule 85 % du volume de glace de l'Antarctique [fig. 2]. Elle est ancrée sur un terrain très accidenté, avec des montagnes mais aussi des fosses qui s'enfoncent parfois jusqu'à plus de 2,5 km au-dessous du niveau de la mer. Son épaisseur dépasse couramment le kilomètre et atteint à son maximum 4,8 km (autant que l'altitude du Mont-Blanc). C'est quelque part sur ce monstrueux dôme glaciaire que se trouve le pôle Sud. Il y fait extrêmement froid : à Vostok, célèbre lieu de forage russe au cœur de la calotte, la température moyenne est de – 70 °C en hiver et « monte » à – 50 °C en été ! De l'avis général, il n'y a absolument aucun risque que cette masse de glace puisse être entamée par le réchauffement climatique prévu. Elle n'a d'ailleurs jamais vraiment fondu depuis sa formation, qui remonte à l'époque très lointaine où l'Antarctique, après s'être détachée du Gondwana, supercontinent de l'hémisphère Sud qui existait voici 150 millions d'années, est venue se fixer, vers – 60 millions d'années, autour du pôle Sud. Elle n'a jamais fondu, alors que la Terre a connu depuis ce temps-là des époques plus

Fig.1 La glace des pôles

LES ZONES GELÉES PROVIENNENT ICI D'UNE MOSAÏQUE D'IMAGES prises par le satellite militaire américain DMSP, au printemps arctique et au printemps antarctique. L'évolution de la banquise (mer gelée) est sans incidence sur le niveau de la mer. Seules les glaces reposant sur la terre ferme en ont une. Aux dernières nouvelles, les glaciers d'Alaska, qu'on aperçoit, joueraient actuellement un rôle plus important que le Groenland ou l'Antarctique.



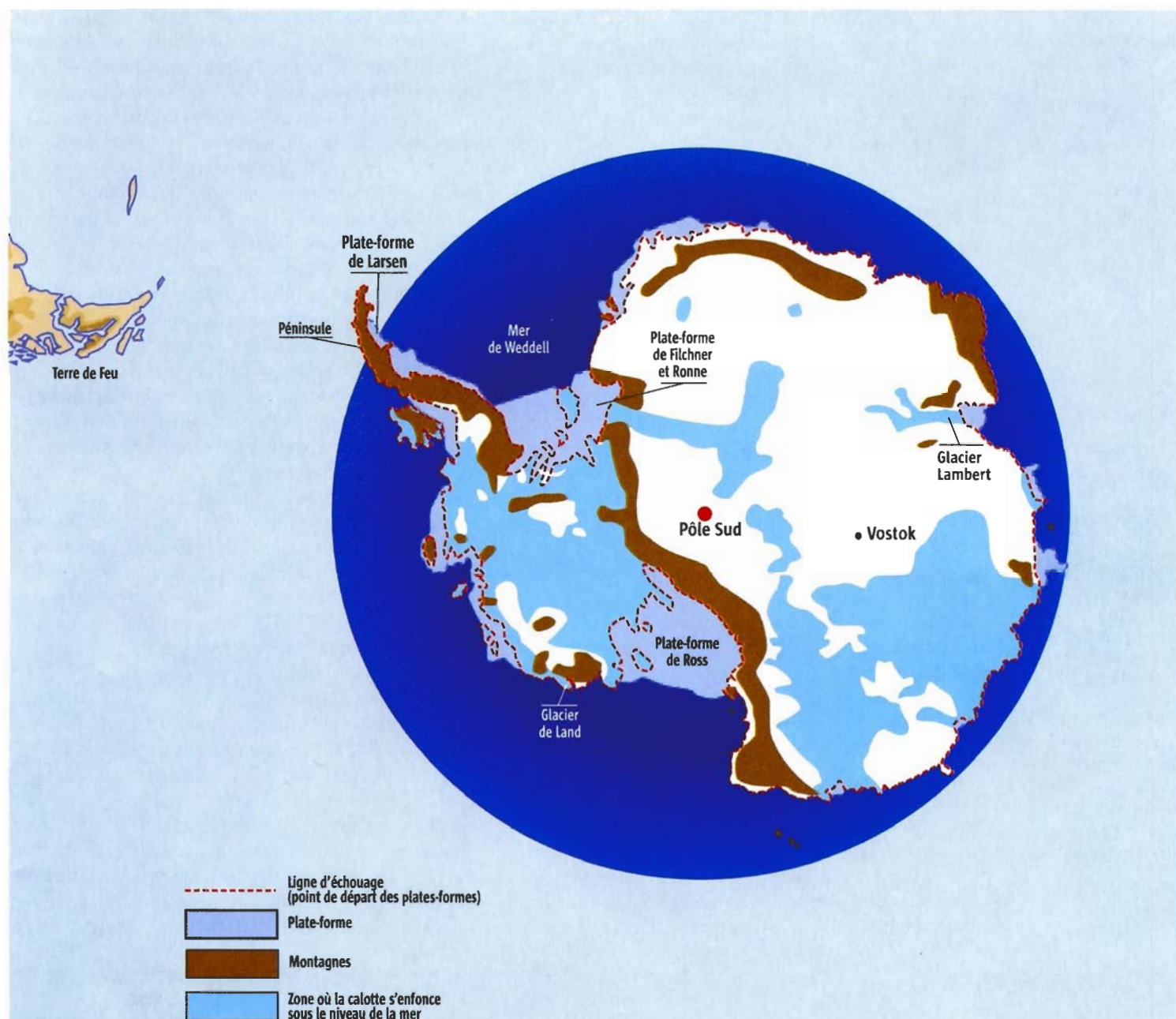


Fig.2 La calotte glaciaire antarctique

PRÈS DE 50 % DE LA CALOTTE repose sur un sol qui est en dessous du niveau de la mer. Quand les langues de glace quittent le sol pour avancer dans l'océan, elles deviennent des plates-formes (*shelves*). Les principales d'entre elles sont dans l'Ouest du continent, qui fait l'objet d'une surveillance particulière. L'effondrement d'une partie de la plate-forme de Larsen, en février dernier, a fait la une des médias. A l'échelle du continent, l'événement n'était cependant pas significatif : très excentrée, cette plate-forme isolée subit sans doute l'effet d'un réchauffement local. © JACQUES DUBUC

chaudes qu'aujourd'hui, y compris au sein de la période « glaciaire » que nous connaissons depuis 2,5 millions d'années, période appelée ainsi en raison de la succession d'épisodes glaciaires qui la caractérise. On sait par exemple qu'il a fait un peu plus chaud qu'aujourd'hui pendant

plusieurs milliers d'années autour de – 400 000 ans, et aussi autour de – 120 000 ans [2] [fig. 3]. Certains exercices de modélisation rétrospective de la calotte de l'Antarctique est depuis le dernier maximum glaciaire, voici 21 000 ans, ne montrent pas non plus de changement ⇒

[2] William Howard, *Nature*, 388, 418, 1997.

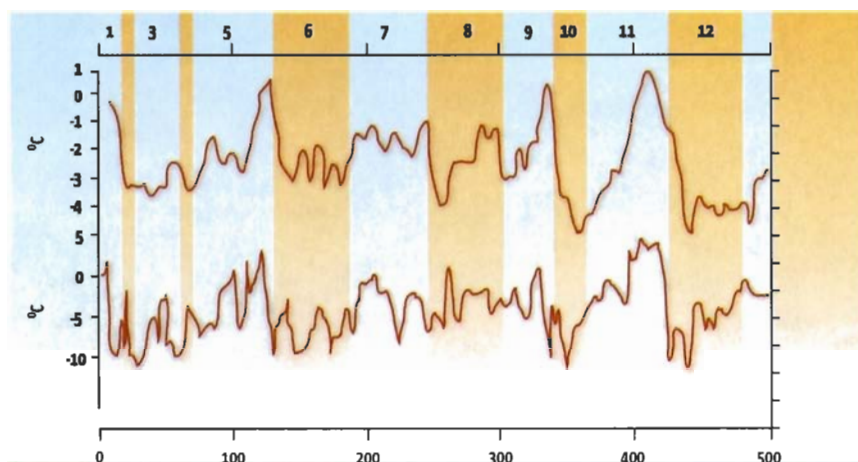


Fig.3 Un épisode clé : - 420 000 ans

A EN JUGER PAR LA TEMPÉRATURE de surface des océans antarctique (en haut) et arctique, que l'on a pu reconstituer, la période la plus chaude de ces 500 000 dernières années s'est produite vers - 420 000 ans. Il est possible que la calotte de l'Antarctique ouest ait presque entièrement fondu.

* **WAIS** signifie West Antarctic Ice Sheet. Le mot *sheet* évoque la totalité de la calotte, plates-formes flottantes comprises (*shelves*), mais sans la banquise.

[3] Catherine Ritz et al., *Journal of Geological Research*, 106, D23, 943, 2001.

⇒ substantiel [fig. 4]. S'il y a changement, ce serait plutôt en sens inverse : pendant les périodes de « glaciation » du Globe, il neige moins et la calotte mincit. C'est l'un des apports des forages profonds. Celui de Vostok renseigne sur l'évolution de l'épaisseur de la glace jusqu'à - 420 000 ans. L'amplitude de la variation est faible, cependant : d'après de récents travaux de modélisation, elle n'excéderait pas 150 mètres sur l'ensemble du plateau antarctique [3]. Mais, du coup, on pourrait s'attendre à ce qu'un réchauffement produise au contraire un accroissement du volume de glace, en raison de chutes de neige plus abondantes. Les recherches récentes sur l'Antarctique ont surtout révélé que la dynamique de la glace y est beaucoup plus complexe et diversifiée qu'on ne l'imaginait. Mais retenons pour l'instant l'essentiel : la plus grosse

calotte du monde ne fondra pas en raison d'un réchauffement global de l'atmosphère terrestre de quelques degrés. Si l'on élimine donc un risque majeur de ce côté-là, il reste à examiner le cas de l'Antarctique ouest (15 % de 90 % de la masse glaciaire continentale de la planète, soit 13,5 % du total) et celui du Groenland (10 % du total). Restons pour le moment sur le continent austral, car c'est celui qui nourrit les plus vives inquiétudes. La calotte glaciaire de l'Antarctique ouest (WAIS* en anglais) est un système beaucoup plus complexe et fragile que la partie orientale du continent. Adossée vers l'Est à une grande chaîne de montagnes, elle se prolonge çà et là par d'immenses langues de glace flottante épaisses de 400 mètres environ, les plates-formes (*ice shelves*). Les deux principales de ces plates-formes, celle de Filchner et Ronne en direction de l'Atlantique et celle de Ross en direction du Pacifique, représentent chacune une surface voisine de celle de la France [fig. 2]. Bien que la mer soit proche, la température moyenne annuelle y est de - 15 °C à - 25 °C, montant à - 8 °C en été. Comme la banquise, ces plates-formes, parce qu'elles flottent, pourraient fondre entièrement sans que le niveau de la mer en soit directement affecté. Mais certains chercheurs pensent que leur disparition, si elle se produisait, fragiliserait les glaces de la calotte elle-même, dont elles sont issues et solidaires. La question est controversée et fait l'objet de recherches intenses.

Fleuves de glace

De très nombreuses équipes issues des quatre coins du monde auscultent la dynamique de ce fameux WAIS, pour évaluer le risque qu'il se désintègre en tout ou en partie. S'il disparaissait en entier, le niveau des mers s'élèverait de 5 à 7 mètres selon les estimations. On est loin des 70 mètres évoqués plus haut, mais une élévation des mers de 5 à 7 mètres aurait des conséquences significatives, surtout si elle se produisait rapidement : quelque cent millions d'hommes vivent à moins d'un mètre du ⇒

Fig.4 Depuis - 20 000 ans

LE PASSAGE DE LA DERNIÈRE GLACIATION à l'interglaciaire actuel s'est traduit par une énorme fonte des glaces à l'échelle du Globe, entraînant une élévation du niveau des mers de 120 mètres. Cette fonte n'a cependant que marginalement concerné la calotte de l'Antarctique est, qui a surtout été entamée par... la hausse du niveau de la mer. La partie ouest de la calotte a été davantage affectée. D'après l'exercice de modélisation présenté ici, elle aurait perdu les deux tiers de sa masse, contribuant pour 11 mètres à l'élévation du niveau des mers. La partie centrale n'a guère été affectée.

(SOURCE : ROBERT BINDSCHADLER, *SCIENCE*, 282, 5388, 1998)

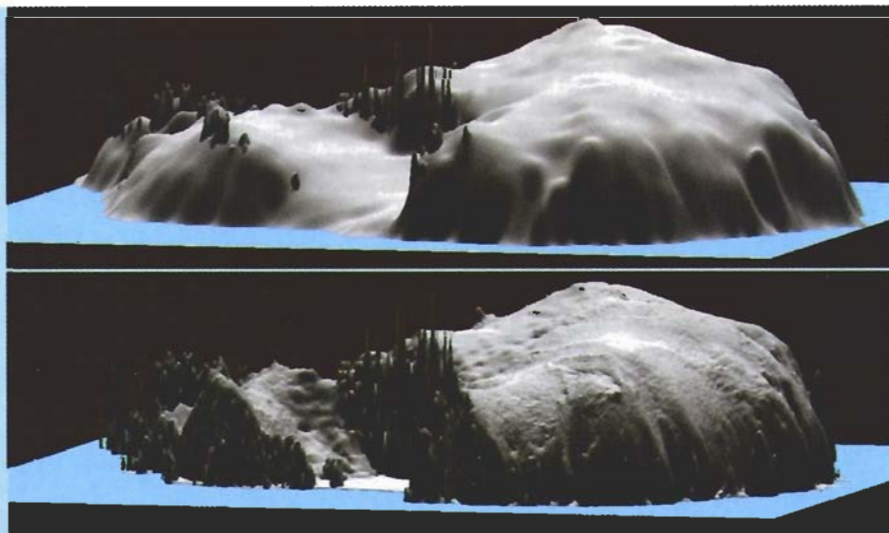
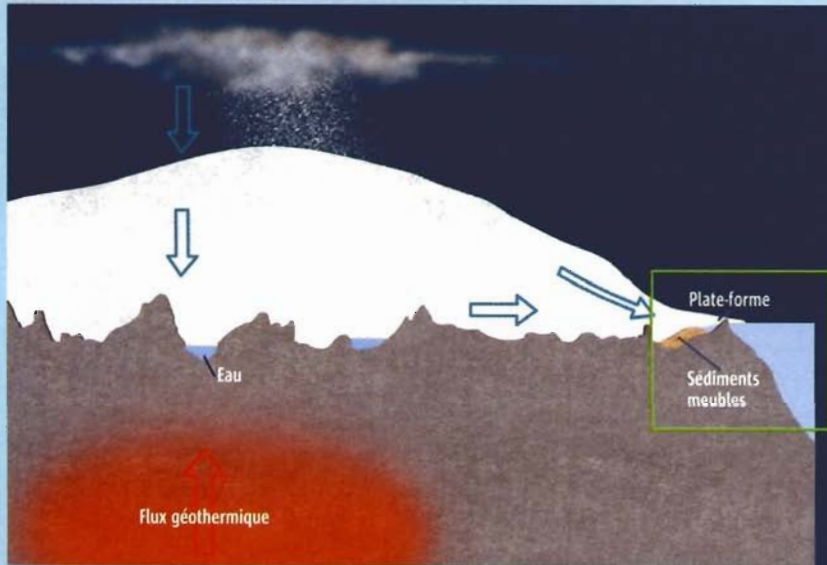


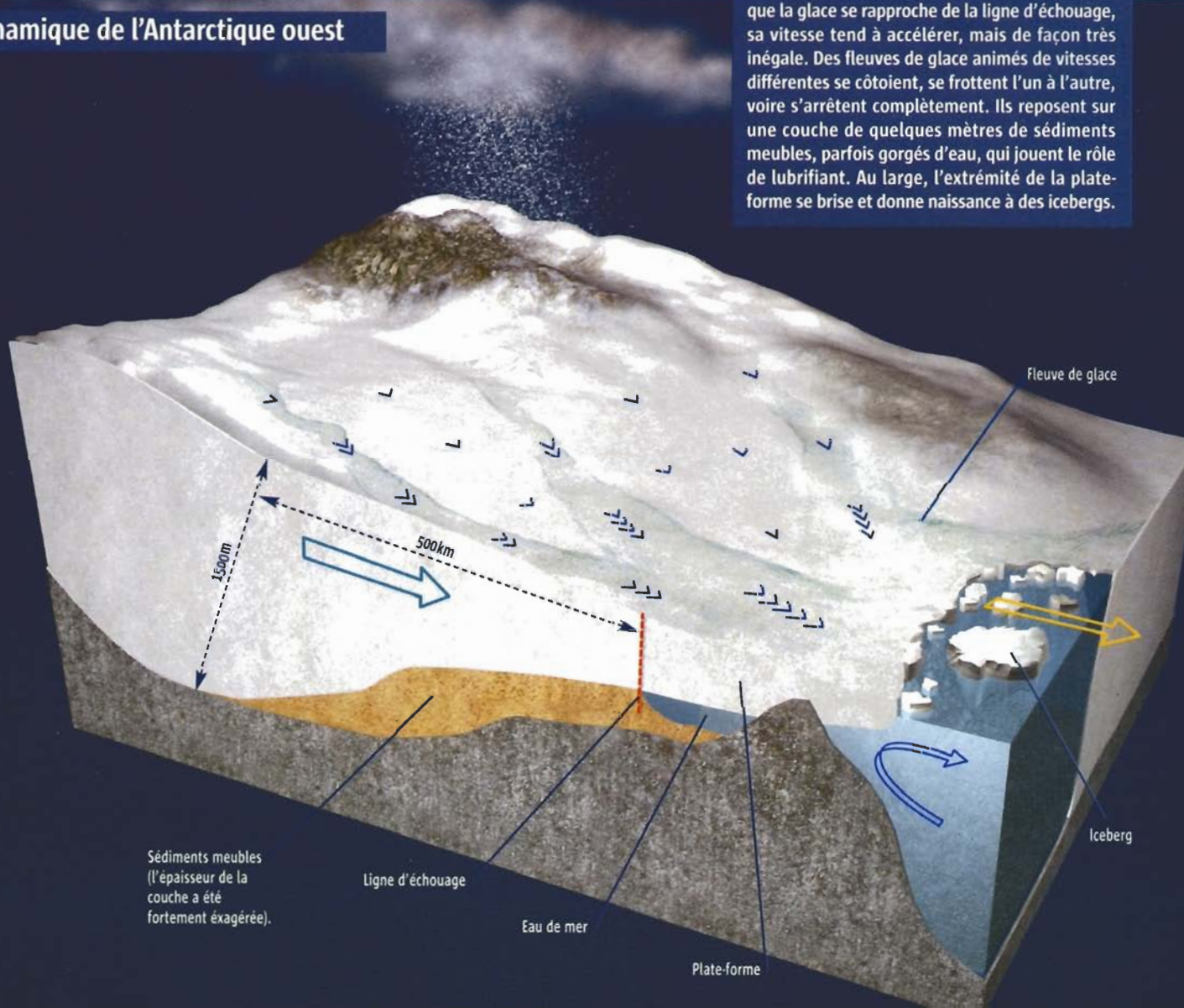
Fig.5 Dynamique de la calotte antarctique



IL NEIGE, LA NEIGE SE TRANSFORME en glace, dont l'épaisseur atteint plusieurs milliers de mètres. Sous l'effet d'un jeu de forces très complexe, principalement la gravité et le flux géothermique, une bonne partie de la calotte tend à se déplacer, très, très lentement, en direction de la mer. Le mouvement est retenu, ça et là, par des montagnes et diverses aspérités.

© INFOGRAPHIES LAURENT HINDRYCKS/MISS

Fig.6 Dynamique de l'Antarctique ouest



IL FAUT 1 200 ANS EN MOYENNE pour que la glace du centre de la calotte ouest-antarctique se retrouve sur la ligne d'échouage, là où elle se met à flotter pour former une plate-forme. A mesure que la glace se rapproche de la ligne d'échouage, sa vitesse tend à accélérer, mais de façon très inégale. Des fleuves de glace animés de vitesses différentes se côtoient, se frottent l'un à l'autre, voire s'arrêtent complètement. Ils reposent sur une couche de quelques mètres de sédiments meubles, parfois gorgés d'eau, qui jouent le rôle de lubrifiant. Au large, l'extrémité de la plate-forme se brise et donne naissance à des icebergs.

⇒ niveau de la mer. Miami et Bangkok seraient sous les eaux. Pour apprécier les recherches et réflexions menées sur ce risque, il faut se faire une idée du paysage, dans l'espace et le temps. La banquise qui borde les plates-formes est de la glace de mer ; son épaisseur n'est que de quelques mètres. La calotte glaciaire et les plates-formes qui les prolongent, elles, sont constituées d'eau douce : c'est de la neige transformée. Comme tout glacier, la calotte a tendance à descendre vers les zones les plus basses, sous l'effet de la gravité. Le mouvement est facilité par le flux géothermique en provenance des profondeurs du sous-sol, dont l'effet, conjugué à la pression de la glace, est de porter la température de la base de la calotte au voisinage du point de fusion ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) [fig. 5 et 6]. Son épaisseur dépasse couramment 2 000 mètres. De gigantesques courants de glace se forment, véritables fleuves, animés de vitesses différentes. Il se trouve par ailleurs que dans le WAIS la calotte qui donne naissance aux plates-formes est profondément et confortablement installée dans une énorme cuvette dont le fond est à plus de 1 000 mètres en dessous du niveau de la mer. Jusque très loin de la mer, le fond de la cuvette est tapissé d'une couche de sédiments meubles de quelques mètres d'épaisseur, qui fait office de lubrifiant. C'est une configuration très particulière, qui pourrait accroître le risque de

[4] Richard Kerr, *Science*, 281, 17, 1998.

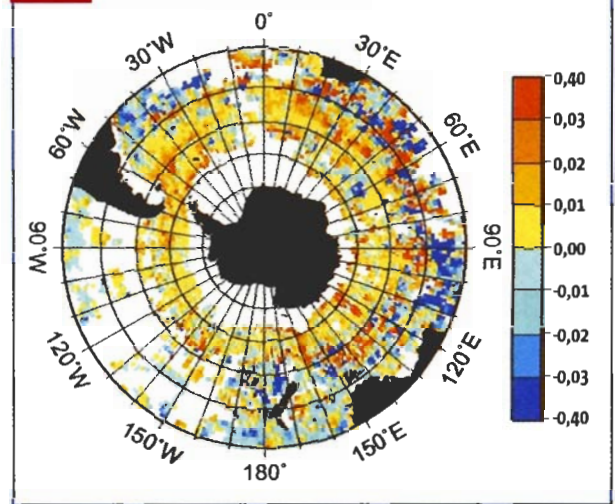
[5] Richard Alley, *Science*, 295, 18 janvier 2002, p. 451.

[6] J. Turner et al., P.T. Doran et al., *Nature*, 18 juillet 2002, p. 291 et 292.

[7] Claire Parkinson, *Annals of Glaciology*, 34, 2002, 435.

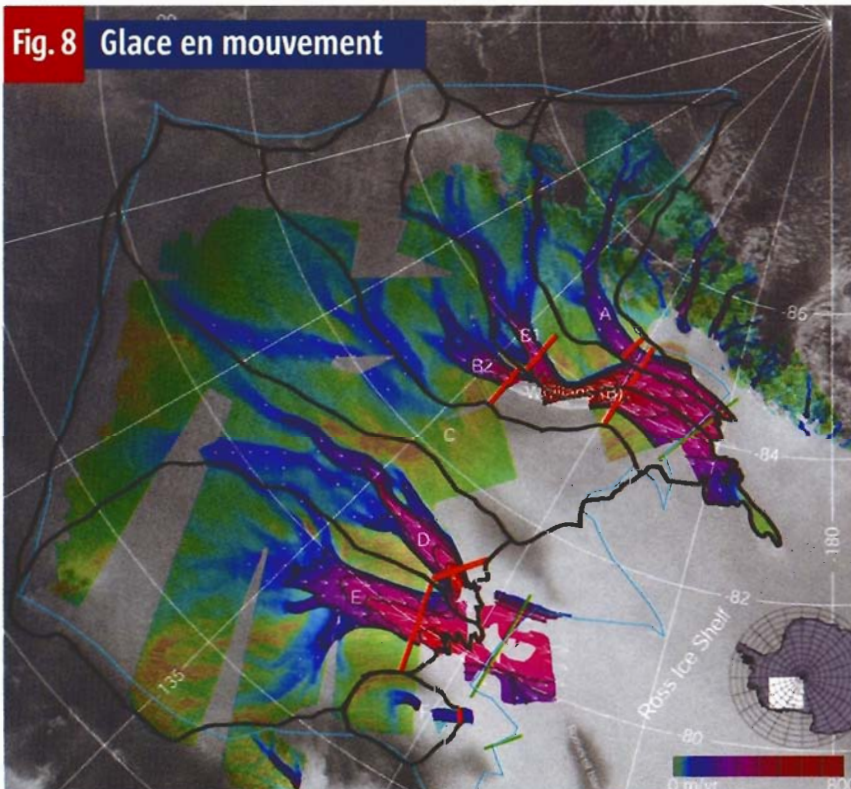
[8] Kevin Krajick, *Science*, 22 juin 2001, p. 2245.

Fig.7 L'océan Austral chauffe



L'AMÉRICAINNE SARAH T. GILLE calcule que la température moyenne du courant circumpolaire de l'océan Antarctique a augmenté un peu plus vite que celle de l'océan global entre les années 1950 et les années 1980. © SCIENCE

Fig. 8 Glace en mouvement



LA CALOTTE QUI ABOUTIT À LA PLATE-FORME DE ROSS est striée de chenaux en direction de la mer, dont le tracé et la vitesse (échelle en bas à droite) sont visualisés grâce au satellite Radarsat. À proximité de la plate-forme, la vitesse de la glace peut atteindre plusieurs centaines de mètres par an. Le chenal C est arrêté depuis cent-cinquante ans. Le carré blanc dans la carte indique la zone concernée. © JOUGHIN&TULACZYK/SCIENCE

désintégration au cas où les plates-formes disparaîtraient. Autre facteur d'inquiétude : le WAIS est de formation plus récente que la calotte de l'Antarctique est. Elle date de l'entrée dans notre « période glaciaire » : quelques millions d'années seulement. Elle est beaucoup plus sensible aux variations du climat. Si l'on considère la plate-forme de Ross, on estime, par exemple, que sa « ligne d'échouage », c'est-à-dire l'endroit où la calotte se met à flotter et se prolonge par la plate-forme, a reculé de 1 300 km vers l'intérieur du continent depuis le dernier maximum glaciaire. Qui plus est, contrairement à sa grande sœur orientale, il semble bien que la calotte de l'Antarctique ouest se soit déjà désintégrée une fois lors d'un interglaciaire particulièrement chaud au cours des 1 300 000 dernières années. En forant dans la calotte à 700 km de la mer, des chercheurs ont en effet retrouvé des fossiles de plantes marines microscopiques qui signent la présence de mer libre. Quand cet événement considérable s'est-il produit ? On ne le sait pas encore. C'était peut-être durant l'interglaciaire particulièrement prononcé qui s'est établi autour de - 400 000 ans [4]. D'après les études les plus récentes, le WAIS a cependant résisté au dernier interglaciaire (entre - 130 000 et - 110 000) et sans doute aux deux interglaciaires précédents (autour de -220 000 et de -320 000) [5]. Rappelons que lors du dernier interglaciaire il faisait plus chaud qu'aujourd'hui (de l'ordre de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ à l'échelle de la planète). A moins que d'autres facteurs interviennent, il faudrait donc que la température dépasse nettement et durablement celle du dernier interglaciaire pour que le WAIS fonde à nouveau. Ce n'est pas

impossible. Les experts du GIEC prévoient une augmentation de la température moyenne du Globe allant, selon le modèle retenu, de 1,5 °C à 6 °C à l'horizon 2100. Encore faudrait-il que la tendance prévue pour le présent siècle se prolonge pendant bien d'autres siècles...

Or, les chercheurs sont au contraire confrontés à des phénomènes troublants, qui ne cadrent guère avec les modèles. Ceux-ci, on l'a vu, prévoient que le réchauffement global affectera tout spécialement les régions polaires. Pour l'heure, cependant, la température globale de l'Antarctique ne croît pas. Certains pensent même qu'elle diminue [6]. Les données les plus récentes, recueillies par satellite, indiquent d'ailleurs une tendance à l'accroissement global de la surface de la banquise autour du continent, de 1979 à 1999, avec des variations de signe inverse selon les régions [7]. Sur le continent lui-même, on constate aussi des réchauffements et refroidissements locaux, et le WAIS, qui s'étend sur 3,8 millions de km², ne fait pas exception (voir l'encadré : « Des variations locales contrastées »). Divers chercheurs ont annoncé avoir décelé les premiers signes d'une déstabilisation du WAIS. Ted Scambos, du National Snow and Ice Data Center américain, a par exemple déclaré en 2001 à *Science* que la plate-forme de Ross pourrait se disloquer d'ici à cinquante ans [8]. Mais bien peu de spécialistes l'imaginent à si brève échéance. Nous sommes en présence de faits d'apparence contra-

Des variations locales contrastées

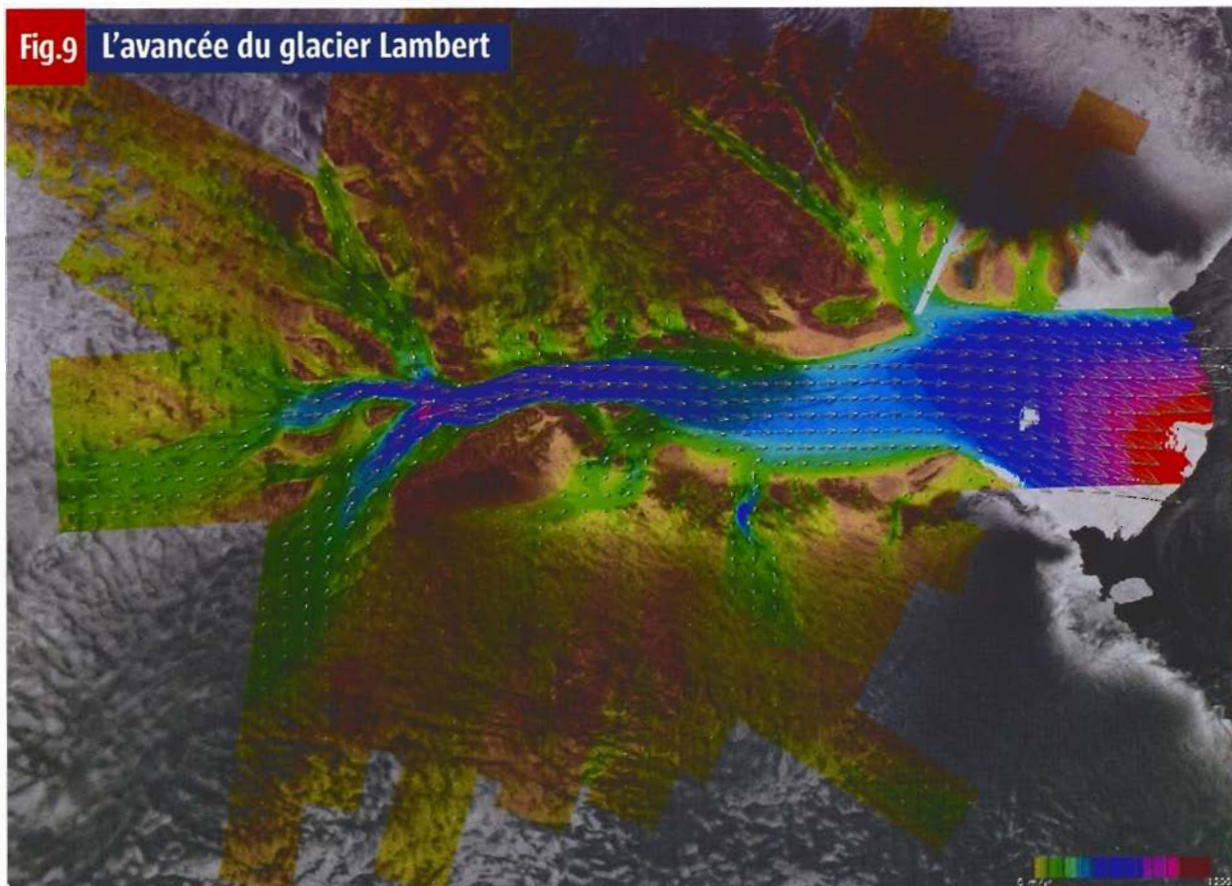
L'ANTARCTIQUE EST GLOBALEMENT TRÈS STABLE À L'ÉCHELLE DES MILLÉNAIRES, mais le continent glacé est animé d'une dynamique incessante, extrêmement complexe, qui produit de multiples variations locales. Et aussi des variations dans les estimations publiées par les chercheurs, qui évoluent à mesure que les moyens d'observation, par satellite en particulier, se multiplient et s'affinent. Ainsi la zone de Ross, dont on pensait il y a peu qu'elle perdait du volume, en gagne, tandis que, à l'est du continent, l'énorme glacier Lambert (près de deux fois la France), dont on croyait qu'il grossissait, accélère et perd du poids [fig. 9]. En Antarctique est, certaines régions prennent du poids, d'autres en perdent, sans qu'on sache pourquoi et sans qu'on soit en mesure d'établir un bilan global. On y trouve aussi des zones « sèches », où le sol est à nu. La plus étendue correspond aux vallées de Mc Murdo, zone côtière qui jouxte la plate-forme de Ross. Là, une équipe de Chicago, par ailleurs persuadée que le conti-

nent tout entier se refroidit, a établi que la température a baissé d'environ 1 °C entre 1986 et 2000. Au point que les principaux habitants de ces zones inhospitalières, de braves nématodes, voient leur nombre diminuer de 10 % par an... [1]. Dans la partie ouest du WAIS, on assiste au contraire à l'effritement d'énormes glaciers qui débouchent directement dans l'océan, sans la protection d'une plate-forme flottante. C'est le cas du Pine Island Glacier (PIG, pour les intimes), dont la base est ancrée dans une cuvette très en dessous du niveau de la mer. Au cours de la dernière décennie, sa vitesse d'écoulement s'est accrue, sa gigantesque épaisseur a très légèrement diminué et son extrémité s'est retirée de 5 km vers l'intérieur des terres. Tout récemment, l'analyse d'images prises par le satellite canadien Radarsat a permis d'y déceler l'ouverture d'une importante fracture [2]. ■ O.-V.

[1] Peter T. Doran et al., *Nature*, 31 janvier 2002, 517.

[2] Andrew Shepherd et al., *Science*, 2 février 2001, p. 862.

Fig.9 L'avancée du glacier Lambert



À L'EST DU CONTINENT ANTARCTIQUE, la calotte ne se prolonge que rarement par une plate-forme. La principale exception est la plate-forme Amery, qui prolonge le gigantesque glacier Lambert (près de 1 million de km²). Les vitesses d'avancée de la glace sont visualisées grâce à des images du satellite Radarsat. Elles atteignent couramment 400 à 800 m par an dans le glacier, et jusqu'à 1,2 km par an dans la plate-forme. Actuellement, le glacier Lambert a tendance à perdre plus de glace qu'il n'en accumule.

© EARTH OBSERVATORY/NASA.



AU GROENLAND, là où l'altitude n'est pas trop élevée, la surface de la calotte fond en été. Des trous se creusent, où l'eau se précipite, traversant à la verticale jusqu'à plus de 1 000 mètres de glace, accentuant le glissement de la base de la calotte. Photo prise dans la zone sud-ouest du sous-continent. © ROGER BRAITHWAITE (SOURCE : SCIENCE, 297, 5579, 2002)

⇒ dictoire, ou témoignant de forces agissant en sens opposé. D'un côté, l'océan a eu tendance ces dernières décennies à se réchauffer légèrement, de l'ordre de 0,1 °C entre 1955 et 1995 [fig. 7] [9]. De l'autre, les zones où la banquise s'accroît l'emportent sur celles où elle décroît. Si l'on rentre un peu plus dans le détail de ce qui se passe selon les régions, on constate une tendance à la réduction de la surface de la banquise dans toute la zone occidentale entourant la péninsule et jusqu'au glacier de Land [fig. 2]. Cette réduction correspond, dans cette zone, à l'accélération et la réduction de volume des glaciers et fleuves de glace. C'est aussi une région où l'océan se réchauffe. À l'inverse, la banquise s'accroît en mer de Ross et les fleuves de glace qui alimentent la plate-forme correspondante tendent à ralentir et à épaissir. Cette dernière constatation a été rendue possible par l'analyse d'images prises par le satellite canadien Radarsat [fig. 8]. L'un de ces fleuves de glace s'est arrêté il y a cent-cinquante ans, sans qu'on sache pourquoi. Dans un article publié récemment dans *Science*, des chercheurs pensent avoir identifié là les premiers signes de la fin du présent interglaciaire et l'arrivée du prochain âge glaciaire [10].

Annnonce prématurée

Comment dès lors interpréter les effondrements si médiatisés de la plate-forme de Larsen ? Regardons la carte. Cette langue glaciaire flanque la partie la plus excentrée du continent antarctique, la plus proche de la Terre de Feu et donc la moins froide. Elle se désintègre depuis des décennies, « peut-être en raison d'un réchauffement local » [11]. Une hausse des températures de l'air, de l'ordre de 2 °C à 3 °C y a effectivement été enregistrée au cours des cinquante dernières années. La surface occupée par la banquise adjacente diminue, ce qui a permis à Sir Peter Blake de voguer en mer de Weddell et de le faire savoir aux ministres de l'Environnement de la planète, réunis en conférence plénière. Mais dans quelle mesure ce réchauffement local est-il lié au « réchauffement global » ? Des forages menés dans cette région font penser que des réchauffements de même ampleur, voire plus marqués encore, se sont déjà produits à diverses époques du présent interglaciaire, libérant la mer et même faisant disparaître les plates-formes. Il n'y avait peut-être pas de plate-forme de Larsen à l'époque du Christ. En tout état de cause, la menace d'une désintégration complète de ladite plate-forme ne constitue pas un sujet d'inquiétude pour la calotte glaciaire antarctique, puisqu'elle n'y est pas adossée. Elle ne pourrait que fragiliser les glaciers de montagne qui la bordent.

Pour résumer, l'annonce d'une désintégration prochaine du WAIS est prématurée. Un bilan établi récemment fait état d'une légère diminution actuelle de la masse glaciaire globale de cette région, pouvant expliquer une augmentation du niveau des mers de l'ordre de 0,16 mm par an [12]. C'est peu, on ignore ce qu'il en était il y a dix ans et ce

qu'il en sera dans dix ans, et rien n'autorise, pour l'heure, à attribuer ce phénomène au « réchauffement global » de la planète. S'agit-il d'un processus temporaire ? Exceptionnel ? Banal ? Cyclique ? Annonceur d'autre chose ? On n'en sait rien.

Glaciers d'Alaska

Quittons maintenant le continent antarctique, et tournons nos regards vers le Groenland. Ce microcontinent montagneux est lui aussi coiffé d'une calotte glaciaire, dont le volume est presque aussi grand que celui du WAIS. Si la calotte groenlandaise fondait, on aurait donc à peu près les mêmes conséquences : une élévation du niveau de la mer de l'ordre de 4 à 5 mètres. Cette région attire également quantité de chercheurs, qui tentent d'évaluer le risque. Ici le problème des plates-formes ne se pose pas : il n'y en a pas, sinon dans l'extrême Nord. La mer ne venant pas lécher la calotte, la fonte ne peut venir, pour l'essentiel, que d'une élévation de la température de l'air. Or, la majeure partie de la surface de la glace groenlandaise se situe à plus de 2 000 mètres d'altitude [fig. 10]. Il y fait donc très froid, même au cœur de l'été. L'épaisseur de la glace dépasse couramment le kilomètre, et son temps de réponse à un changement climatique est nécessairement très long, de l'ordre de plusieurs siècles ou millénaires. Il semble que la calotte ait beaucoup fondu lors du dernier interglaciaire. Fond-elle aujourd'hui ? Les dernières mesures, réalisées par altimétrie laser aérienne, montrent qu'elle est restée globalement stable au cours des dernières décennies, avec des zones en diminution et des zones en augmentation. Mais elle a tendance à fondre à sa périphérie, donc à basse altitude et à proximité de la mer. Elle perdrait environ 51 km³ de glace par an au total, ce qui ferait monter le niveau de la mer d'un modeste 0,13 mm par an [13]. Cette fonte est due à un léger réchauffement qui a commencé au milieu des années 1970. Lequel réchauffement avait suivi une période de refroidissement, elle-même consécutive à une période chaude dans les années 1930 : à cette époque, la température moyenne était plus élevée qu'aujourd'hui !

Curieusement, les recherches les plus récentes semblent indiquer que la principale contribution des glaces continentales à la hausse du niveau de la mer serait aujourd'hui due non à l'Antarctique ou au Groenland, mais aux glaciers de montagne qui bordent le sud de l'Alaska. Autrement dit, à une fraction de ce petit millième de la cryo-

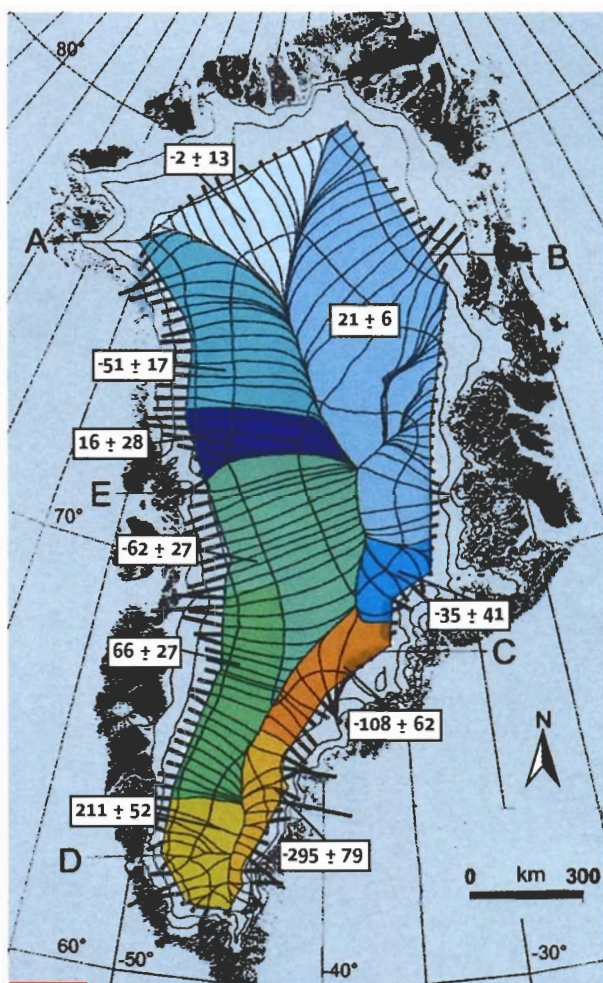


Fig.10 Au Groenland, la glace hésite

SELON LES ZONES, LA CALOTTE DE GLACE QUI RECOUVRE LA MAJEURE PARTIE DU GROENLAND a tendance à fondre ou, au contraire, à épaissir. On voit ici l'évolution annuelle, entre 1993 et 1997, en millimètres, avec une indication de la marge d'erreur. Ces chiffres ont été établis par des mesures répétées au sol, à l'aide du système GPS.

sphère que nous avons négligemment écarté au départ ! Leur contribution lors de ces toutes dernières années équivaudrait à celles de l'Antarctique et du Groenland réunis : 0,27 mm par an. Mais la question du lien entre le réchauffement global et cette fonte ponctuelle dans l'espace et le temps n'est pas réglée [14]. ■ O. P.-V.

POUR EN SAVOIR PLUS

■ Claude Lorius, *Glaces de l'Antarctique. Une mémoire, des passions*, Odile Jacob, 1991. La meilleure introduction aux sciences polaires.

www.ifremer.fr/ifrpt/
Site de l'Institut polaire français.

www.lgge.ujf-grenoble.fr/
Site du Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (CNRS).
www.antarctica.ac.uk/
Site du British Antarctic Survey.
www.nsf.gov/od/opp/start.htm
Site de l'Office of Polar Programs (NSF).

www-bprc.mps.ohio-state.edu/radarsat/Images/mosaic_5km.jpg
Carte mosaïque du continent antarctique obtenue à partir d'un puzzle de quelque 4 000 images satellite (Radarsat1). Commentaires sur <http://www-bprc.mps.ohio-state.edu/radarsat/>

[9] Sarah T. Gille, *Science*, 15 février 2002, p. 1275.

[10] Ian Joughin *et al.*, *Science*, 18 janvier 2002, p. 476.

[11] Michael Oppenheimer, *Nature*, 28 mai 1998, p. 327.

[12] Eric Rignot et Robert Thomas, *Science*, 297, 1502, 2002.

[13] W. Krabill, *Science*, 21 juillet 2000, p. 428.

[14] Anthony A. Arendt *et al.*, *Science*, 19 juillet 2002, p. 382.