

Les calottes polaires

sont-elles en train de fondre ?

Le Groenland et l'Antarctique ont peu contribué à l'augmentation du niveau des mers lors des dernières décennies. Cependant, des instabilités dynamiques liées au réchauffement climatique pourraient accroître la perte de glace dans les années à venir.

Frédéric PARRENIN et Catherine RITZ

Au cours des derniers millions d'années, au gré des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires, le niveau de la mer a varié de plus de 100 mètres, principalement à cause des changements de volume des calottes polaires. Cependant, lors des derniers 3000 ans, ce niveau n'a pas varié de plus de 30 cm du fait de la stabilité du climat. Comment évoluent aujourd'hui ces masses de glace dans le contexte du réchauffement climatique ?

Des glaces éternelles ?

Les calottes polaires, que l'on nomme également inlandsis, sont d'énormes masses de glace qui reposent sur des continents. Seuls deux territoires extrêmes, l'Antarctique situé au pôle Sud et le Groenland proche du pôle Nord, possèdent ce statut. Ces deux calottes contiennent environ 33 millions de kilomètres cube de glace, soit 30 millions de milliards de tonnes (1 milliard de tonnes est noté 1 Gt), et induiraient une remontée du niveau des mers de 70 mètres si elles fondaient entièrement. Le Groenland ne représente qu'environ 10% de cette masse de glace. L'Antarctique, elle, regroupe deux calottes quasi disjointes : l'Antarctique de l'Est, la plus importante, et l'Antarctique de l'Ouest, sa petite soeur, 10 fois plus modeste.

La glace de ces continents provient de l'accumulation continue de neige. En une seule année, il tombe environ 2500 Gt de neige. Si cette masse d'eau était directement versée dans la mer, celle-ci s'élèverait de 6,5 millimètres. Cette neige se transforme petit à petit en glace dans une zone de transition d'une centaine de mètres que l'on nomme le névé. La glace accumulée s'écoule ensuite par gravité vers les bords de la calotte polaire. Si la température est suffisamment élevée, la glace fond en surface (il s'agit du phénomène d'ablation). Dans le cas contraire, elle s'évacue dans l'océan et forme des plates-formes flottantes qui, lorsqu'elles se disloquent, donnent naissance aux fameux icebergs. L'écoulement de la glace vers l'océan ne se répartit pas de manière homogène : de grands fleuves se forment et drainent la majeure partie de la glace sur une petite portion de la côte.

Mesurer pour comprendre

Afin de mesurer l'évolution de la quantité de glace stockée (ou bilan de masse), les scientifiques ont recours à trois méthodes : la mesure de l'évolution du volume, la mesure de l'évolution de la masse, ou la différence des flux entrant (accumulation de la neige) et sortant (ablation et rejets vers l'océan).

Les variations de volume sont déduites des mesures de l'altitude de surface des calottes polaires, qui sont maintenant effectuées par satellites. L'évolution du volume de la calotte s'en déduit après la correction de deux paramètres : les variations d'altitude du socle rocheux et les variations de

hauteur du névé.

L'évolution de la masse des calottes polaires est estimée à la suite de mesures par satellite du champ de gravité. Néanmoins, l'information récoltée ne révèle pas l'origine du changement de masse, qui peut provenir de la calotte polaire, de la colonne d'air présente au-dessus, de l'évolution du socle rocheux sous glaciaire, ou encore d'une évolution des masses présentes à proximité de la calotte étudiée (masse de l'océan, masses d'eau et de neige présentes sur les continents adjacents). Ces différents effets sont estimés, puis corrigés, mais il subsiste une incertitude importante, notamment pour la correction de la contribution du socle rocheux de l'Antarctique.

Enfin, la dernière méthode revient à mesurer la différence des flux entrant et sortant. Ainsi, l'accumulation et la fonte de surface sont estimées par des données de terrains ainsi que par des modèles. Quant aux rejets vers l'océan, ils sont estimés grâce à des mesures de la vitesse de surface de la glace et de l'épaisseur de celle-ci à proximité de la côte. Ces méthodes possèdent leurs propres biais et incertitudes, et par ailleurs, elles ont été appliquées sur des intervalles temporels différents.

Un oeil sur la glace

Intéressons-nous, tout d'abord, aux résultats fournis par l'altimétrie sur la décennie 1992-2002, notamment grâce aux satellites européens ERS1 et ERS2. Les mesures révèlent que le Groenland a fondu sur les bords, alors qu'il s'est épaissi au centre. Au total, il aurait perdu moins de 50 Gt/an. La mesure des flux fournit une estimation plus importante de cette perte de masse, qui atteindrait environ 100 Gt/an. En ce qui concerne l'Antarctique, la partie Ouest aurait diminué (environ 50 Gt/an), alors que la partie Est aurait enregistré un léger gain de masse, notamment sur sa partie centrale.

Quant au satellite gravimétrique GRACE (lancé par la NASA en mars 2002), il nous montre une nette perte de masse du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest, et un gain de masse de l'Antarctique de l'Est (voir figure 1), mais les différentes estimations fournies par cette méthode divergent encore. Le Groenland et l'Antarctique de l'Ouest auraient tous deux perdu entre 50 et 250 Gt/an sur la période 2002-2006. L'Antarctique de l'Est aurait lui grossi de 40 à 80 Gt/an sur cette même période. Il semble donc que les pertes de masse se soient accélérées lors des dernières années, mais davantage de mesures sont nécessaires pour confirmer cette tendance.

Grâce à ces différentes techniques, nous constatons donc une perte de masse des calottes polaires sur leurs parties côtières, qui n'est que partiellement compensée par un gain sur les parties centrales situées à haute altitude. Quelle en est la raison ? Ce constat correspond aux anticipations que l'on peut faire dans le contexte d'un réchauffement climatique. En effet, les masses d'air chaud contiennent plus d'eau que les masses d'air froid et sont donc susceptibles d'apporter plus de précipitations, ce qui expliquerait le gain de masse constaté dans les parties centrales. Sur le pourtour, partie la plus chaude, le phénomène dominant serait l'augmentation de l'ablation de surface.

Attention ça glisse !

Cependant, l'amincissement des régions côtières ne relève pas entièrement d'une augmentation de l'ablation, mais également d'une accélération de l'écoulement. Ainsi, la quasi totalité des grands glaciers du Groenland au Sud de 66 degrés Nord de latitude s'écoulaient plus rapidement en 2000 qu'en 1996 (voire l'exemple sur la figure 2). Cette accélération s'est intensifiée et étendue à 70 degrés Nord en 2005. Ce phénomène est encore mal compris, mais des glaciologues avancent l'hypothèse d'une lubrification accentuée du substrat sous-glaciaire par l'eau de fonte en surface, celle-ci percolant jusqu'à la base du glacier. Quoi qu'il en soit, il est difficile d'imaginer qu'une accélération quasi-généralisée comme celle qui est observée au Groenland soit le fruit d'un phénomène cyclique et naturel.

Un autre phénomène, observé en particulier en Antarctique, est lié aux plate-formes de glace. Celles-ci jouent un rôle d'arc-boutant qui permet de retenir l'écoulement de la glace se situant en amont. Lorsqu'elles se désintègrent, comme cela a été le cas pour la plate-forme du Larsen au large de la péninsule Antarctique, l'écoulement s'intensifie. Des indices provenant des sédiments océaniques sous-jacents montrent que cette plate-forme du Larsen était restée stable au cours des derniers milliers d'années. Ajoutant à cela le fait que l'océan s'est réchauffé de plus de 2 degrés dans cette région depuis quelques décennies, on peut penser que le réchauffement anthropique est bien à l'origine de ce phénomène.

Au cours des prochaines années, l'augmentation des précipitations neigeuses dans les parties centrales des calottes polaires et, pour le Groenland, de l'ablation dans les parties côtières devrait se poursuivre. En revanche, les prévisions des scientifiques sont encore bien floues en ce qui concerne la dynamique de l'écoulement. Les modèles en sont encore à leurs balbutiements en

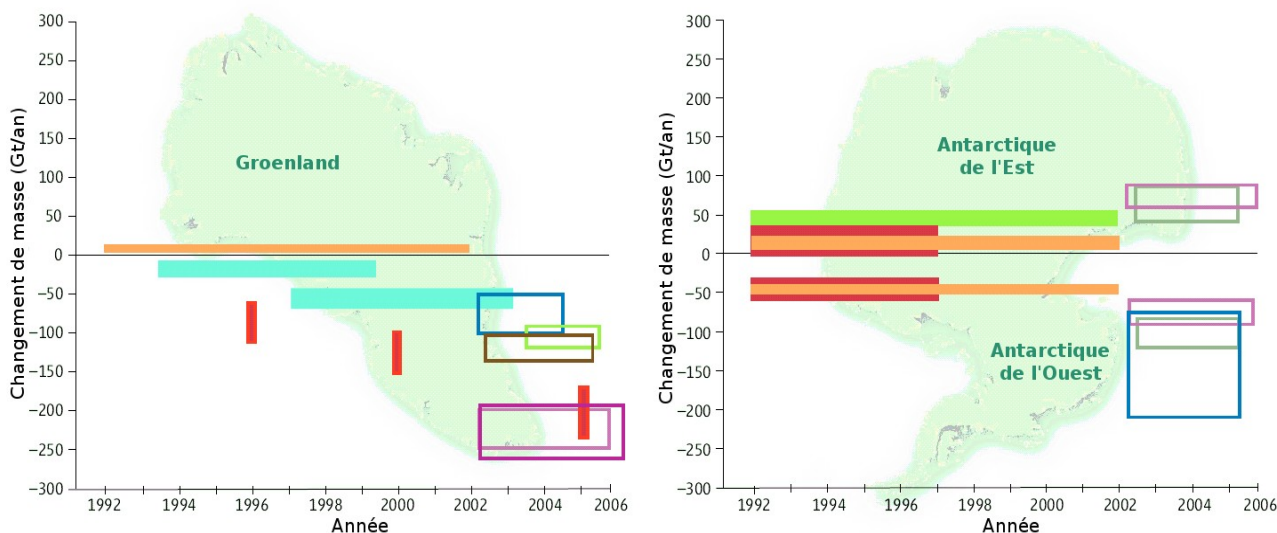
glaciologie comparés aux modèles utilisés en météorologie et en océanographie. Les phénomènes mécaniques sont mal compris, et d'autres études, liant modèles numériques et données de terrains, devront être menées dans les années à venir.

Frédéric PARRENIN et Catherine RITZ sont chercheurs au Laboratoire de glaciologie et de géophysique de l'environnement de l'Université Joseph Fourier à Grenoble.

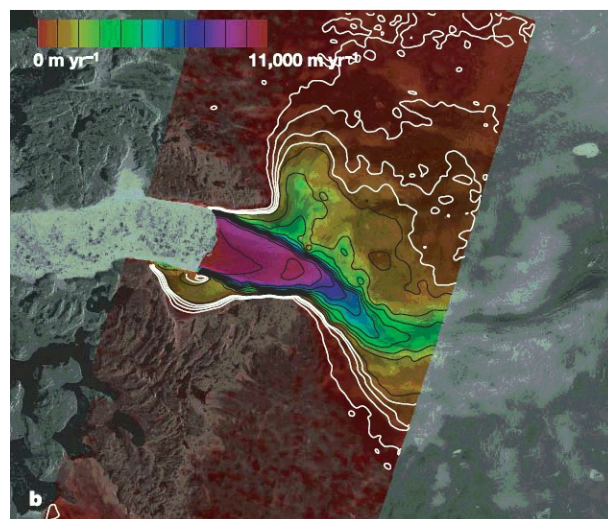
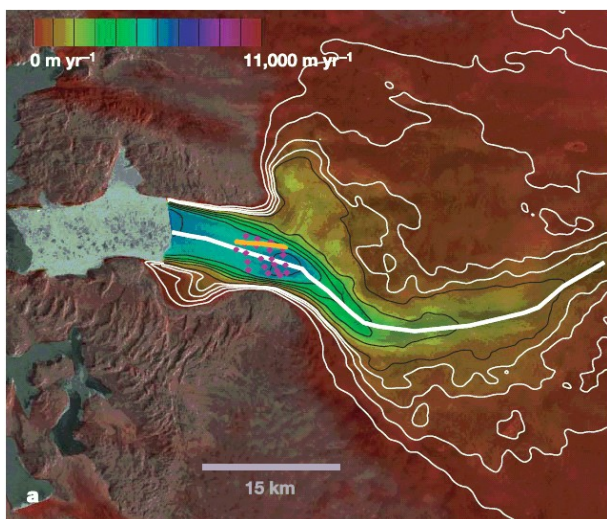
[1] A. Cazenave, How fast are the ice sheets melting?, in *Science*, vol. 314, 2006.

[2] I. Joughin, W. Abdalati et M. Fahnestock, Large fluctuations in speed on Greenland's Jakobshavn Isbræ glacier, In *Nature*, vol. 432, 2004.

[3] G. Ramillien, A. Lombard, A. Cazenave, E.R. Ivins, M. Llubes, F. Remy, R. Biancale, Interannual variations of the mass balance of the Antarctica and Greenland ice sheets from GRACE, In *Global and Planetary Change*, vol. 53, 2006.



1. ESTIMATION DU BILAN DE MASSE du Groenland et de l'Antarctique pour différentes périodes et par différents auteurs. La largeur du rectangle représente la période correspondant aux mesures, tandis que sa hauteur représente l'intervalle de confiance. Les rectangles ouverts représentent les estimations basées sur la satellite gravimétrique GRACE. Pour l'Antarctique, les valeurs positives sont pour la partie Est et les valeurs négatives pour la partie Ouest, excepté le carré bleu qui est une moyenne sur toute la calotte. *Adapté de [1].*



2. LE GLACIER JAKOBSHAVN est le plus important des glaciers du Groenland. Les vitesses d'écoulement ont à peu près doublé entre février 1992 (a) et octobre 2000 (b). *Adapté de [2].*