

DACOTA, DYNAMIQUE ANTARCTIQUE CÔTIÈRE EN TERRE ADÉLIE

Comprendre le fonctionnement des glaciers côtiers et leur rôle sur le niveau des mers



Emmanuel LE MEUR, Gaël DURAND, Olivier GAGLIARDINI, Basile DE FLEURIAN Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement LGGE (CNRS-Université de Grenoble I), BP 96, 38402 St-Martin-d'Hères Cedex

RÉSUMÉ

Les glaciers côtiers ont un rôle fondamental sur la dynamique d'ensemble de la calotte antarctique et leurs récents changements rapides laissent augurer un impact significatif sur le niveau moyen des mers. Dans le cadre du programme DACOTA, la zone atelier du glacier de l'Astrolabe proche de Dumont d'Urville fait l'objet de nombreuses mesures de terrain à partir desquelles un travail de modélisation numérique permettra de mieux comprendre le fonctionnement spécifique et complexe de ces systèmes côtiers. Ces résultats, complétés par des mesures sur les grands glaciers voisins du secteur, devraient permettre de mieux estimer la contribution future de l'Antarctique de l'Est aux variations du niveau marin.

ABSTRACT

The role of coastal outlet glaciers on the overall dynamics of the Antarctic ice sheet is now taken for granted and the rapid changes they have recently undergone should significantly impact on the global sea level. In this context, the DACOTA project aims at collecting field data over the test zone of the Astrolabe Glacier (near Dumont d'Urville) so as to carry out extensive numerical modelling in order to provide a better understanding of the specific behaviour of these coastal glacial systems. With the help of some more measurements over the nearby large outlet glaciers of the Terre Adélie sector, these results should provide a better constrain on the East Antarctic future contribution to the global sea level rise.

Contexte

N'ayant pas la possibilité de fondre, l'essentiel de la neige qui tombe sur le continent antarctique se transforme progressivement en glace. Au cours de son cheminement vers la mer essentiellement dicté par la topographie et la nature du substratum rocheux, cette glace accélère et finit par se concentrer à la faveur de glaciers dits émissaires, des structures de taille certes réduite mais arborant des vitesses de l'ordre du km/an leur permettant de drainer plus de 90 % de la glace de la calotte glaciaire vers la mer. Leur rôle sur le bilan de masse global de l'Antarctique est donc fondamental et en fait de véritables régulateurs de débit du flux de glace vers l'océan. Or de récentes observations (Rignot and Kanagaratnam, 2006) montrent une accélération récente de ces glaciers émissaires en Péninsule ainsi qu'en Antarctique de l'Ouest, avec pour effet un drainage accru de la glace située en amont et par voie de conséquence, une contribution d'autant accrue au niveau des mers. La tendance est beaucoup moins affirmée en Antarctique de l'Est, pourtant potentiellement plus menaçant en terme de montée du niveau marin. C'est dans ce contexte que s'inscrit le programme DACOTA dont l'objectif est de mesurer et de modéliser l'évolution présente et future de la zone atelier que constitue le glacier de l'Astrolabe (facilités logistiques liées à sa proximité de la base de Dumont d'Urville, voir *fig. 1*) ainsi que des gros glaciers émissaires plus distants du secteur Terre Adélie- Terre Georges V afin de prédire quelle pourrait être la contribution de tout ce secteur de l'Antarctique au futur niveau des mers. Il s'inscrit dans le cadre plus général du programme IPY n°88 ASAILD : Antarctic Surface Accumulation and Ice Discharge qui vise à une meilleure quantification du flux total de glace antarctique à la mer. Le travail se décline en 2 volets : (i) la collecte de données de terrain permettant de caractériser directement le comportement de la zone d'étude ainsi que celles nécessaires à la conduite du travail de modélisation, (ii) un travail théorique de conception et d'application de modèles numériques permettant de rendre compte et de simuler la dynamique spécifique de ces glaciers en réponse aux sollicitations environnementales.

Les collaborations nationales tout comme internationales qu'implique la réalisation du programme sont les suivantes :

- 1/ Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (CNRS, Université Toulouse 3, CNES, IRD) : Exploitation de données satellitaires (vitesses InSAR, Modèles numériques de terrain SPOT-HRS, E. Berthier) et expertise dans le déploiement de balises GPS permanentes (B. Legresy).
- 2/ Jet Propulsion Laboratory, Pasadena Californie, USA : Mesures radar aéroportées de la surface sous-glaciaire de l'Astrolabe ainsi que des portails glaciaires des grands glaciers du secteur (radar 2.5-20 Mhz, E. Rignot).
- 3/ Institute for Geophysics, Université du Texas, USA: Mesures radar aéroportées de la surface sous-glaciaire de l'Astrolabe (radar 60 Mhz, J. Holt).

Collecte des données sur le terrain

Les données nécessaires en entrée des modèles numériques concernent la topographie sous-glaciaire, le bilan de masse en surface et la position initiale de la ligne d'échouage. La topographie sous-glaciaire a été mesurée au cours des campagnes 2007/08 (radar au sol sur la partie côtière accessible à pied, représenté par les profils jaunes sur la *fig. 1*) et 2008/09 (campagnes aéroportées faisant l'objet des 2 collaborations US, grilles respectivement rouge et bleue pour le JPL et l'Université du Texas). Le bilan de masse est obtenu à partir d'un réseau de 12 balises installées au cours de la campagne 2006/07 (trait blanc sur la *fig. 1*), complété par les données de l'observatoire GLACIOCLIM (programme Ipev 411) sur un secteur proche (route du raid), lesquelles permettent une extrapolation sur notre zone d'étude et la prise en compte de la forte variabilité spatiale de l'accumulation. Enfin, la position de la ligne d'échouage a été mesurée par détection de la présence ou pas d'un signal de marée à la surface de la glace à l'aide de déposes GPS (*fig.2*) en divers points de la surface du glacier (ronds roses sur la *fig. 1*). Les données GPS sont aussi l'occasion de mesurer la vitesse de déplacement

de la glace, d'établir des modèles numériques de terrain à différentes époques et ainsi d'appréhender des changements d'épaisseur du glacier ou encore d'établir des réseaux très précis de déformation (carrés jaunes sur la fig. 1), autant de données qui cette fois-ci s'avèrent très utiles pour valider ou contraindre des résultats de modèles.

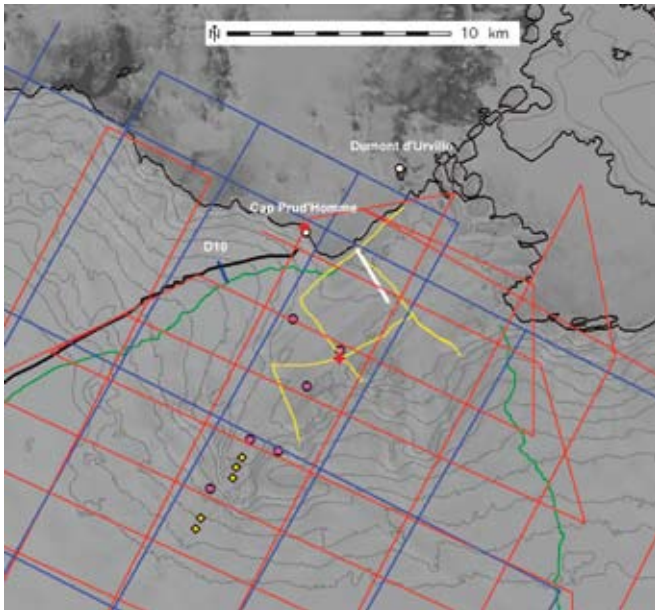


Fig. 1 Localisation des différentes mesures réalisées sur la zone test du glacier de l'astrolabe. Le contour vert représente partiellement le bassin versant du glacier d'une surface de l'ordre de 8 000 km².

Modélisation numérique, premiers résultats

Les glaciers émissaires ont cette particularité de se décoller du substratum rocheux pour se mettre à flotter au dessus de la mer au niveau de ce que l'on appelle la ligne d'échouage (fig. 3). Cette transition se traduit par un fort changement dans les conditions basales, lequel impacte fortement sur le régime d'écoulement et plus généralement sur le comportement d'ensemble du glacier. En effet, la forte instabilité de cette ligne et ses déplacements, potentiellement importants, sont à l'origine de gros changements de volume pour l'ensemble de la glace située en amont, avec des purges parfois violentes en cas de retrait (comme figuré entre les états [1] et [2] de la fig. 3). La difficulté du travail de modélisation de la dynamique glaciaire côtière consiste à correctement rendre compte de la forte mobilité ainsi que de la dynamique spécifique de cette ligne d'échouage. Ce défi n'est possible qu'au prix de la mise au point de modèles sophistiqués s'affranchissant de toutes les approximations dans la résolution complexe des équations de la mécanique (modèles dit 'Full Stokes') et utilisant une grille de calcul suffisamment fine (résolution de 100 m) dans la formulation du problème avec la technique des éléments finis (Durand et al., 2009a).

Nos résultats numériques (Durand et al., 2009b) ont ainsi pour la première fois confirmé l'instabilité de cette ligne d'échouage lorsque le socle rocheux va en s'approfondissant vers l'intérieur de la calotte tel que représenté sur la fig. 3, instabilité jusqu'alors uniquement démontrée de manière théorique. Ainsi le trait rouge sur la figure représente toute une zone (pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de km sur une bonne part du pourtour antarctique) le long de laquelle la ligne d'échouage ne peut se stabiliser. Sous l'effet de perturbations environnementales même minimales, cette ligne n'a d'autre choix que de 'sauter' d'un extrême à l'autre (correspondant aux configurations [1] et [2] sur la figure). Sachant que la tendance actuelle est au recul de cette ligne (passage de l'état [1] à l'état [2]), il est facile de se rendre compte de l'importance de la perte de volume de la calotte jusque très en amont à l'intérieur du continent. L'excédent de flux de glace vers la mer qui en résulte



Photo : Bruno JOURDAIN

Fig. 2 Implantation d'une balise GPS permanente sur le glacier de l'astrolabe.

sera alors accommodé sous la forme d'une accélération concomitante des glaciers émissaires.

Les conditions sous-glaciaires et plus particulièrement le réseau hydrologique jouent un rôle crucial sur la dynamique de la ligne d'échouage et plus généralement sur celle des systèmes glaciaires côtiers. Un travail supplémentaire de modélisation et d'implémentation de ces conditions basales reste à effectuer et s'appuiera sur de nouvelles mesures de terrain à entreprendre au cours des prochaines campagnes (notamment l'instrumentation de forages destructifs sur l'ensemble du glacier avec des capteurs de pression d'eau, d'inclinaison et de déformation basale).

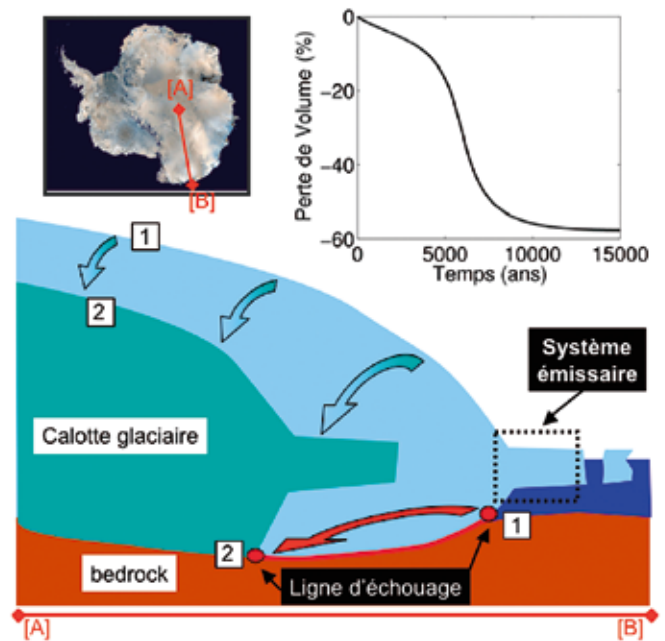


Fig. 3 Coupe schématique allant du cœur du continent à la côte et illustrant la perte de volume glaciaire (entre les états [1] et [2]) associée au déplacement de la ligne d'échouage entre les 2 positions extrêmes d'équilibre de part et d'autre de la zone instable du fait de la topographie plongeante du socle rocheux. La courbe associée représente cette perte de volume obtenue par notre modèle numérique dans le cadre des simulations tests du projet MISMIP (Durand et al., 2009b).

PUBLICATIONS

- Durand, G., O. Gagliardini, T. Zwinger, and E. Le Meur, 2009a. Full-Stokes modeling of marine ice-sheets: influence of the grid size., *Ann. Glaciol.* (sous presse)
- Durand, G., O. Gagliardini, B. De Fleurian, T. Zwinger, and E. Le Meur, 2009b. Marine Ice-Sheet Dynamics: Hysteresis and Neutral Equilibrium, *J. of Geophys. Res.* (sous presse)
- Rignot, E. And Kanagaratnam, 2006 Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet, *Science*, 301, 986-990.