

Pertes de masses des calottes polaires, Antarctique et Groenland. Nouvelles contraintes à partir de l'imagerie stéréoscopique et l'altimétrie laser.

Avec les glaciers, les calottes polaires sont un fort contributeur à la hausse du niveau de la mer et leurs pertes s'accroissent au cours des dernières années (e.g., 1). Depuis 2012, des exercices d'intercomparaison ont permis de combiner les estimations des changements de masse des calottes polaires issues de diverses méthodes (2–4). Ces travaux s'appuient sur les données gravimétriques des missions GRACE et GRACE-FO (e.g., 5), des missions altimétriques (radar ou laser) (e.g., 6, 7), ou des cartes de vitesses issues de l'interférométrie radar et de la corrélation d'images (e.g., 8). Cependant, le consensus affiché dans ces inter-comparaisons cache des divergences parfois fortes entre ces différentes méthodes car chacune présente des inconvénients. En particulier, la méthode altimétrique, qu'elle s'appuie sur des mesures radar ou laser, affiche une résolution au mieux kilométrique. Cette résolution, si elle est parfaitement adaptée dans les zones centrales et plates des calottes polaires, ne permet pas de résoudre la complexité des changements d'altitude des glaciers côtiers, tout particulièrement le long des côtes pentues de la Péninsule Antarctique et du Groenland. L'objectif de la thèse est de construire des estimations haute résolution des changements d'altitude des calottes.

Il s'agira d'exploiter une archive de couples stéréoscopiques acquise par le capteur SPOT5-HRS (9) durant l'année polaire internationale (IPY, 2007-2009) afin de construire une topographie de la périphérie des calottes polaires. Un recalage altimétrique fin de chaque modèle numérique de terrain sera réalisé à partir des profils d'élévation, en partie simultanés, du laser altimétrique ICESat-1 (2003-2009). Cette topographie IPY servira alors de référence pour estimer plus de 15 ans de changements de volume de la périphérie des calottes par comparaison avec les mesures des missions récentes, en particulier ICESat-2 (6).

Dans un premier temps, la Péninsule Antarctique sera un site de choix pour valider la méthodologie puis l'appliquer pour estimer 15 ans d'évolution (10). C'est justement une des régions où les estimations récentes des pertes de masse divergent le plus et où la dynamique glaciaire est complexe. Dans un second temps, la méthodologie sera déployée à toutes les marges des calottes glaciaires. Des changements de volume totaux seront obtenus en combinant nos nouvelles estimations pour les régions côtières avec des estimations basées purement sur l'altimétrie laser pour les parties centrales des calottes.

Ce travail de thèse sera menée dans l'équipe ECHOS du LEGOS. Il s'appuiera sur l'expérience du laboratoire autour du suivi des calottes polaires (Frédérique Rémy, Alejandro Blazquez) et de notre réseau de collaboration en France (IGE, Jérémie Mouginot, Vincent Favier) ainsi qu'à l'étranger, Joaquin Belart (LMI Iceland), Ted Scambos (University of Colorado) et Bea Csatho (University of Buffalo).

Références

1. H.-O. Portner, *et al.*, *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (2019).

2. A. Shepherd, *et al.*, Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature* **558**, 219–222 (2018).
3. The IMBIE Team, Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018. *Nature* **579**, 233–239 (2020).
4. A. Shepherd, *et al.*, A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance. *Science* **338**, 1183–1189 (2012).
5. A. Blazquez, *et al.*, Exploring the uncertainty in GRACE estimates of the mass redistributions at the Earth surface: implications for the global water and sea level budgets. *Geophysical Journal International* **215**, 415–430 (2018).
6. B. Smith, *et al.*, Pervasive ice sheet mass loss reflects competing ocean and atmosphere processes. *Science* **368**, 1239 (2020).
7. L. Schröder, *et al.*, Four decades of Antarctic surface elevation changes from multi-mission satellite altimetry. *The Cryosphere* **13**, 427–449 (2019).
8. J. Mouginot, *et al.*, Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**, 9239 (2019).
9. J. Korona, E. Berthier, M. Bernard, F. Remy, E. Thouvenot, SPIRIT. SPOT 5 stereoscopic survey of Polar Ice: Reference Images and Topographies during the fourth International Polar Year (2007-2009). *ISPRS J. Photogramm.* **64**, 204–212 (2009).
10. T. A. Scambos, *et al.*, Detailed ice loss pattern in the northern Antarctic Peninsula: widespread decline driven by ice front retreats. *Cryosphere* **8**, 2135–2145 (2014).

Mass losses of the polar ice sheets, Antarctica and Greenland. New constraints from stereoscopic imagery and laser altimetry

Along with glaciers, polar ice sheets are a strong contributor to sea level rise and their losses are accelerating in recent years (e.g., 1). Since 2012, intercomparison exercises have combined estimates of ice sheet mass change from various methods (2-4). This work relies on gravity data from the GRACE and GRACE-FO missions (e.g., 5), altimetry (radar or laser) missions (e.g., 6, 7), or velocity maps from radar interferometry and image correlation (e.g., 8). However, the consensus displayed in these inter-comparisons hides sometimes strong divergences between these different methods because each one presents drawbacks. In particular, the altimetry method, whether based on radar or laser measurements, has a resolution of, at most, one kilometer. This resolution, if perfectly suited in the central and flat areas of the polar ice sheets, does not allow to solve the complexity of the elevation changes of the coastal glaciers, especially along the sloping coasts of the Antarctic Peninsula and Greenland. The objective of the thesis is to build high resolution estimates of ice sheet elevation changes.

It will exploit an archive of stereo pairs acquired by the SPOT5-HRS (9) sensor during the International Polar Year (IPY, 2007-2009) to build a topography of the polar ice sheet periphery. A fine altimeter adjustment of each digital terrain model will be performed using the elevation measurements, partly simultaneous, of the ICESat-1 laser altimeter (2003-2009). This IPY topography will then be used as a reference to estimate more than 15 years of volume changes of the ice sheet periphery by comparison with measurements from recent missions, in particular

ICESat-2 (6).

Initially, the Antarctic Peninsula will be a site of choice to validate the methodology and then apply it to estimate 15 years of evolution (10). This is precisely one of the regions where recent estimates of mass loss diverge the most and where glacier dynamics are complex. In a second step, the methodology will be deployed at all ice sheet margins. Total volume changes will be obtained by combining our new estimates for the coastal regions with estimates based purely on laser altimetry for the central parts of the ice caps.