Université de Liège

Present and future Greenland ice sheet surface energy balances with the help of the regional climate MAR model

Thèse réalisée par
Bruno Franco
sous la direction de
Michel Erpicum (Université de Liège, UGPQ)
et
Xavier Fettweis (Université de Liège, UGPQ)
pour l'obtention du titre de
Docteur en Sciences de l'Université de Liège

Jury de thèse composé de :
Prof. F. Petit (Université de Liège, Président du jury),
Prof. M. Erpicum (Université de Liège, Promoteur de thèse),
Dr. X. Fettweis (Université de Liège, Co-promoteur de thèse),
Dr. C. Agosta (Université de Liège, LGGE Grenoble),
Prof. L. François (Université de Liège),
Prof. H. Gallée (LGGE Grenoble),
Prof. C. Schneider (RWTH Aachen)

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur, le Professeur Michel Erpicum, pour m'avoir offert l'opportunité d'entreprendre cette thèse, pour ses encouragements réguliers pendant toutes ces années, ainsi que pour tout l'encadrement et les conseils qu'il a pu me fournir afin de mener ce travail à terme.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à mon promoteur Xavier Fettweis, l'initiateur de cette thèse. Xavier m'a totalement encadré pendant toutes ces années : il m'a consacré beaucoup de son temps pour me faire découvrir la calotte glaciaire du Groenland, pour me former à la programmation, à la modélisation et au maniement du modèle MAR. Il a toujours été disponible pour répondre à mes nombreuses questions techniques et me donner de précieux conseils sur l'orientation à donner à mon travail. De plus, Xavier a patiemment relu et corrigé les versions successives de mes articles et de ma thèse, me fournissant de nombreuses indications pour les améliorer. Je l'en remercie chaleureusement.

Mes remerciements vont également à Hubert Gallée et à Louis François, membres de mon comité de thèse, pour avoir relu la première version de ce travail. Grâce à leurs commentaires judicieux et constructifs, ils m'ont permis d'améliorer le manuscrit ainsi que la présentation orale.

Merci également au Professeur François Petit, au Professeur Christoph Schneider et à Cécile Agosta pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Toute ma gratitude et ma plus profonde affection vont à mon épouse chérie, Bérengère. Cette thèse n'aurait jamais pu être menée à terme sans sa présence et son soutien indéfectible jour après jour, même pendant les moments les plus difficiles rencontrés au cours de ces dernières années. Son affection, son écoute et ses encouragements ont été pour moi inestimables.

Enfin, merci à tous ceux parmi mes proches, mes amis et mes collègues qui m'ont soutenu, encouragé et aidé pendant la réalisation de ce travail.

Abstract

(1) The Greenland ice sheet (GrIS) surface mass balance (SMB) was modelled at different spatial resolutions (15–50 km), using the regional climate model MAR (Modèle Atmosphérique Régional) forced by the ERA–INTERIM reanalysis over the 1990–2010 period. The comparison of these simulations revealed that (i) the inter-annual variability of the SMB components is consistent within the different resolutions investigated when they are integrated over the whole ice sheet, (ii) the MAR model simulates heavier precipitation on average over the GrIS with decreasing resolution, and (iii) the SMB components (except precipitation) can be derived from a lower-resolution simulation with an enhanced interpolation. This interpolation can also be used to approximate the SMB components over another topography/ice sheet mask of the GrIS. These results are valuable for the forcing of an ice dynamical model, needed to enable full projections of the GrIS mass balance contribution to sea-level rise (SLR) over the coming centuries. Moreover, this work showed that 25 km-resolution MAR simulation is a good compromise between computing time and results precision in the aim to perform afterwards 21st-century projections of the GrIS melt.

(2) The most suited atmosphere-ocean general circulation models (AOGCMs) for the GrIS current climate modelling were selected on the basis of comparison between the 1970–1999 outputs and reanalyses, showing that the representation quality of surface parameters (temperature, precipitation) are highly correlated to the atmospheric circulation and its inter-annual variability (North Atlantic oscillation). Future atmospheric circulation changes according to greenhouse gas (GHG) emissions scenarios were projected to dampen the zonal flow, enhance the meridional fluxes and provide additional heat and moisture to the GrIS, increasing temperature over the whole ice sheet and precipitation over its northeastern area. Moreover, future projections performed with the selected AOGCMs showed consistent anomalies to the present-day climate. The GrIS SMB anomalies from the A1B scenario amount to $-300\,\mathrm{Gt\,yr^{-1}}$ with respect to 1970–1999, leading to a SLR of 5 cm by the end of the 21st century. This work helped to select the AOGCMs used as forcing fields in the MAR model to carry out future projections of the GrIS.

(3) 20th and 21st centuries MAR simulations at 25 km resolution forced by previously selected GCMs according to GHG scenarios were performed over the GrIS in order to investigate the projected changes of the surface energy balance (SEB) components driving the surface melt. Analysis of 2000–2100 melt anomalies to 1980–1999 results revealed an exponential relationship of the surface melt to the near-surface temperature anomalies, mainly due to the surface albedo positive feedback associated with the extension of bare ice areas in summer. On the GrIS margins, the future melt anomalies are driven by stronger sensible heat fluxes, induced by enhanced warm air advections. Over the central dry snow zone, the increase of melt surpasses the negative feedback from heavier snowfall

inducing a decrease of the summer surface albedo. In addition to the incoming longwave flux increase associated to the atmosphere warming, MAR projected an increase of the cloud cover decreasing the ratio of the incoming shortwave versus longwave radiation and dampening the albedo feedback. This trend of cloud cover is contrary to that simulated by reanalyses-forced MAR over current climate, where the observed melt increase since the 1990's is rather a consequence of more anticyclonic atmospheric conditions. No significant change was projected in the length of the melt season, highlighting the importance of solar radiation in the melt SEB.

Contents