

INFLUENCE DE LA RESOLUTION SPATIALE SUR LA MODELISATION DU BILAN DE MASSE EN SURFACE DE LA CALOTTE GLACIAIRE DU GROENLAND A L'AIDE DU MODELE REGIONAL MAR

FRANCO B.¹, FETTWEIS X.¹, ERPICUM M.¹

¹ Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie, Université de Liège, Allée du 6 août, 2, 4000 Liège, Belgique. Email : bruno.franco@ulg.ac.be (Aspirant FNRS)

Résumé : Grâce au modèle régional du climat MAR (Modèle Atmosphérique Régional), nous avons simulé le bilan de masse en surface (SMB) de la calotte glaciaire du Groenland (GrIS) à 20, 25, 30, 40 et 50km de résolution, afin d'évaluer l'impact de la résolution spatiale. Dans le projet ICE2SEA, les sorties du modèle MAR à 25km de résolution sont utilisées comme champs de forçage pour des modèles de calotte, dans le but de produire des projections de la contribution de la GrIS à l'élévation du niveau de la mer sur les 200 prochaines années. Cependant, les modèles de calotte tournent à une résolution plus élevée (5-10km) que la résolution actuelle du MAR (25km). De telles simulations du MAR, sur le même domaine d'intégration, nécessitent un important surcoût en temps de calcul et ne sont pas réalisables jusqu'à présent. C'est pourquoi différentes méthodes avancées d'interpolation spatiale sont évaluées afin de réduire les biais lors de l'interpolation des sorties du MAR à plus haute résolution.

Mots clés : Groenland, modélisation, résolution spatiale, bilan de masse en surface

Abstract : *Impact of the spatial resolution on the Greenland ice sheet surface mass balance modelling using the regional climate model MAR*

By using the regional climate model MAR (Modèle Atmosphérique Régional), we have modelled the Greenland Ice Sheet (GrIS) Surface Mass Balance (SMB) at 20, 25, 30, 40 and 50km resolution to assess the impact of the spatial resolution. As part of the ICE2SEA project, the 25km-resolution SMB outputs of the MAR model are used as forcing fields for ice sheet models, in order to produce projections of the GrIS contribution to sea-level rise over the next 200 years. However, the ice sheet models often run at a higher resolution (typically 5-10km) than the current MAR resolution (25km). Such higher-resolution runs of the MAR model on the same integration domain generate a significant additional computing time and are not doable until now. That is why several enhanced SMB interpolations are tested here in order to reduce biases when interpolating the MAR outputs onto higher resolution, in the framework of the ICE2SEA project.

Keywords : Greenland, modelling, spatial resolution, surface mass balance

Introduction

Les récentes fluctuations du climat de l'Arctique ont un impact sur le volume global de glace au Groenland (Tedesco et al. 2008), et les variations actuelles du bilan de masse (défini comme la somme annuelle des masses de glace/neige perdues et gagnées) de la calotte glaciaire du Groenland se montrent d'un intérêt tout particulier. En effet, l'augmentation récente des apports en eau de fonte, associée à un réchauffement de surface, contribue à l'élévation du niveau moyen de mers et pourrait perturber la circulation thermohaline en modifiant le contraste de densité qui la dirige (Rahmstorf et al. 2005).

Dans ce travail, nous étudions tout d'abord le bilan de masse en surface de la calotte glaciaire du Groenland (le plus sensible au contexte de réchauffement climatique) à différentes résolutions spatiales, à l'aide du modèle régional du climat MAR (Modèle Atmosphérique Régional), déjà validé et optimisé pour le Groenland à 25km de résolution (Fettweis, 2007, Fettweis et al. 2010), et forcé toutes les 6 heures par les réanalyses ERA-INTERIM. Ensuite, afin de pouvoir forcer des modèles de calotte glaciaire tournant à très haute résolution (généralement 5-10km), nous interpolons les sorties du modèle MAR sur des grilles de résolution similaire, en réduisant les biais engendrés par cette interpolation grâce à des facteurs correctifs.

1. Influence de la résolution spatiale

Le Groenland présente une topographie fortement accidentée au niveau des régions côtières, caractérisées par des précipitations abondantes. De plus, la zone d'ablation, où se concentre le maximum de fonte durant les mois d'été, est située en marge de la calotte glaciaire et forme une bande relativement étroite de moins de 100km de large. Il est donc nécessaire de bien évaluer l'impact de la résolution spatiale des modèles régionaux sur la simulation du bilan de masse en surface de la calotte glaciaire. Pour ce faire, nous avons simulé le bilan de masse en surface à 20, 25, 30, 40 et 50km de résolution, sur la période 1990-2009, à l'aide du modèle MAR (Figure 1).

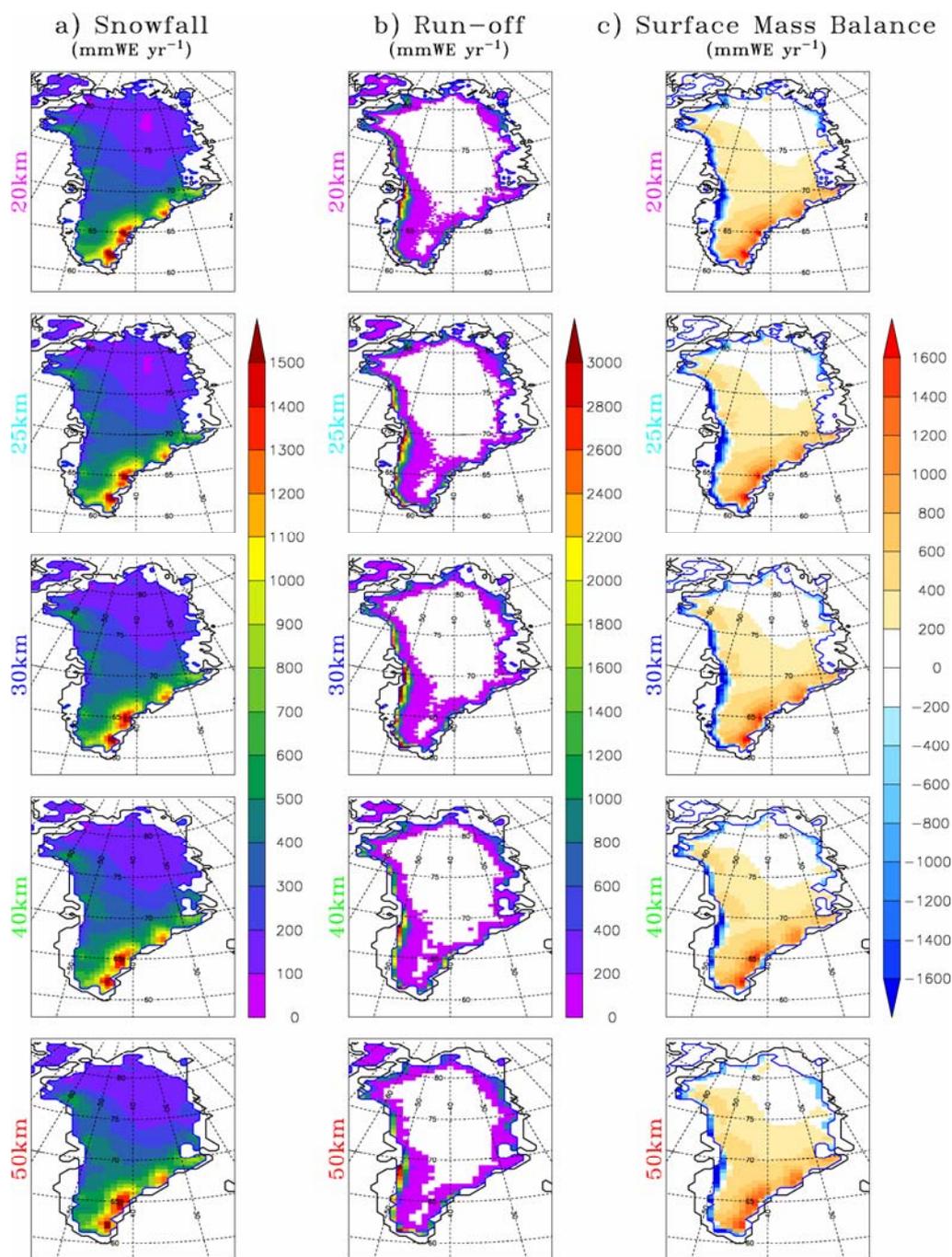


Figure 1 : a) Précipitations neigeuses annuelles (en mm d'équivalent eau, par an) (mmWE/yr), sur la période 1990-2009, simulées par le modèle MAR à 20, 25, 30, 40 et 50km de résolution. b) Même que (a) pour le run-off annuel (mmWE/yr). c) Même que (a) pour le bilan de masse en surface annuel (mmWE/yr).

D'après la Figure 1, nous pouvons observer l'apport d'une résolution plus fine sur la reconstruction du bilan de masse en surface de la calotte glaciaire du Groenland, ainsi que sur les deux principaux facteurs qui le définissent : les précipitations neigeuses et le run-off. Les simulations du MAR à haute résolution améliorent la représentation de la topographie du Groenland, et par conséquent le total des précipitations (principalement des chutes de neige) et le run-off d'eau de fonte (Figure 1), qui sont les deux composants principaux de l'équation du bilan de masse en surface. De plus, des simulations du MAR à haute résolution permettent de construire un masque de calotte glaciaire plus détaillé, et donc fournissent des sorties de bilan de masse en surface plus précises. Au contraire, à une résolution trop grossière, le modèle MAR sous-estime les précipitations neigeuses sur la côte sud-est du Groenland, ce qui limite le gain de masse simulé dans cette zone, et sous-estime la fonte et la perte de masse de la calotte glaciaire, principalement le long de la côte ouest du Groenland (Figure 1).

Afin de valider les résultats du MAR, nous comparons l'altitude de la surface de la calotte glaciaire du Groenland et les sorties de bilan de masse en surface, fournies par les simulations du MAR à 20, 25, ... km de résolution, avec les données des stations situées le long de Kangerlussuaq-transect (K-transect), à 67°N, sur la côte ouest du Groenland (van de Wall et al. 2005). Les différences entre les topographies du MAR et l'altitude des stations du K-transect sont généralement faibles, mais les simulations du MAR de 25 à 50km de résolution tendent à légèrement surestimer le run-off d'eau de fonte (Figure 2). Bien que la simulation du MAR à 20km de résolution ne soit pas suffisamment fine pour représenter le bilan de masse en surface dans le proche voisinage des marges de la calotte glaciaire, ces résultats correspondent très bien avec les données des stations du K-transect. (Figure 2).

2. Interpolation des sorties du modèle MAR

Dans le cadre du projet ICE2SEA, les sorties du bilan de masse en surface du modèle MAR à 25km de résolution sont utilisées comme champs de forçage dans des modèles de calotte glaciaire, afin d'obtenir des projections de la contribution de la calotte glaciaire du Groenland à l'élévation du niveau marin global sur les 200 prochaines années. Bien que la résolution spatiale actuelle du modèle régional MAR (25km) soit beaucoup plus élevée que celle des modèles globaux (150-300km), les modèles de calotte glaciaire tournent généralement à résolution encore plus élevée (typiquement à 5-10km de résolution). En effet, ces modèles doivent disposer d'une résolution suffisamment fine afin de représenter le plus fidèlement possible la topographie accidentée des régions côtières et l'étroitesse de la zone d'ablation de la calotte glaciaire du Groenland.

Toutefois, augmenter davantage la résolution spatiale du modèle MAR (par exemple de 25 à 5km) implique un surcoût considérable en temps de calcul (dans ce cas, équivalent à un facteur 5^3 sur les meilleures machines) pour le même domaine d'intégration, ce qui rend de telles simulations irréalisables à l'heure actuelle. Par ailleurs, les méthodes conventionnelles d'interpolation linéaire du bilan de masse en surface, sur une grille à plus haute résolution, s'avèrent peu fiables. En effet, de telles méthodes induisent des biais importants, principalement parce que les masques de glace de résolutions différentes ne correspondent pas, et que le bilan de masse en surface constitue une fonction très complexe de la résolution spatiale et de la topographie. C'est pourquoi des méthodes avancées d'interpolation spatiale sont nécessaires afin d'utiliser les sorties du modèle MAR à 25km de résolution dans des modèles de calotte, dans le cadre du projet ICE2SEA.

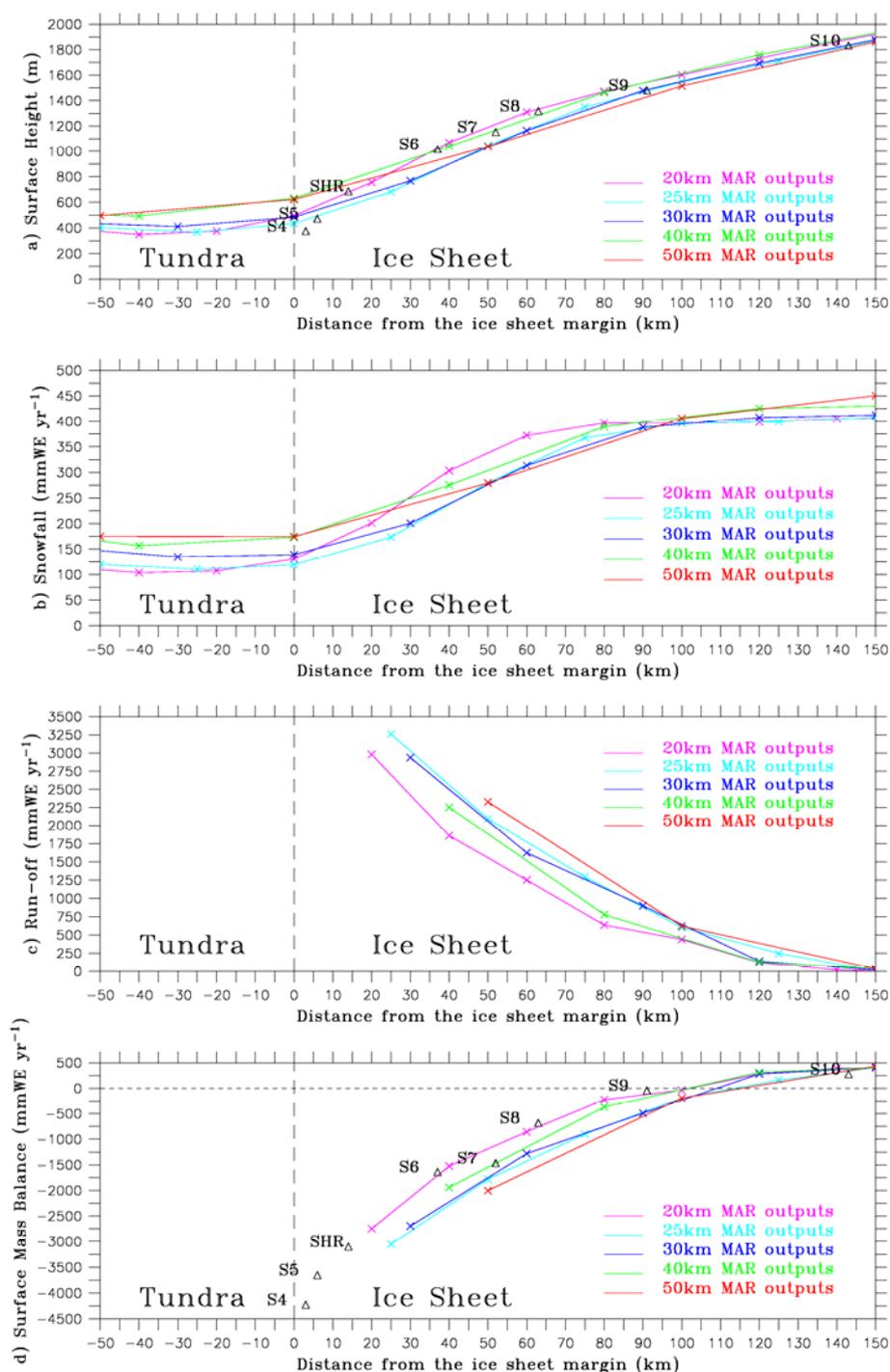


Figure 2 : a) Coupe transversale de la topographie (m) le long du K-transect pour les simulations du MAR à 20, 25, 30, 40 et 50km et relevés des stations du K-transect. b) Même que (a) pour les précipitations neigeuses annuelles (mmWE/yr) sur la période 1990-2009. c) Même que (b) pour le run-off (mmWE/yr). d) Même que (b) pour le bilan de masse en surface (mmWE/yr).

Dans ce travail, les sorties du modèle MAR à 20, 25, 30, 40 et 50km de résolution sont interpolées (dans ce cas-ci, par pondération inverse à la distance) sur la grille du MAR à 15km de résolution, et comparées avec les résultats issus de simulations du MAR effectuées directement à 15km de résolution. La Figure 3 montre que les résultats de cette interpolation présentent la même variabilité inter-annuelle, bien qu'elles proviennent de simulations du MAR à des résolutions spatiales différentes, et possèdent des tendances identiques.

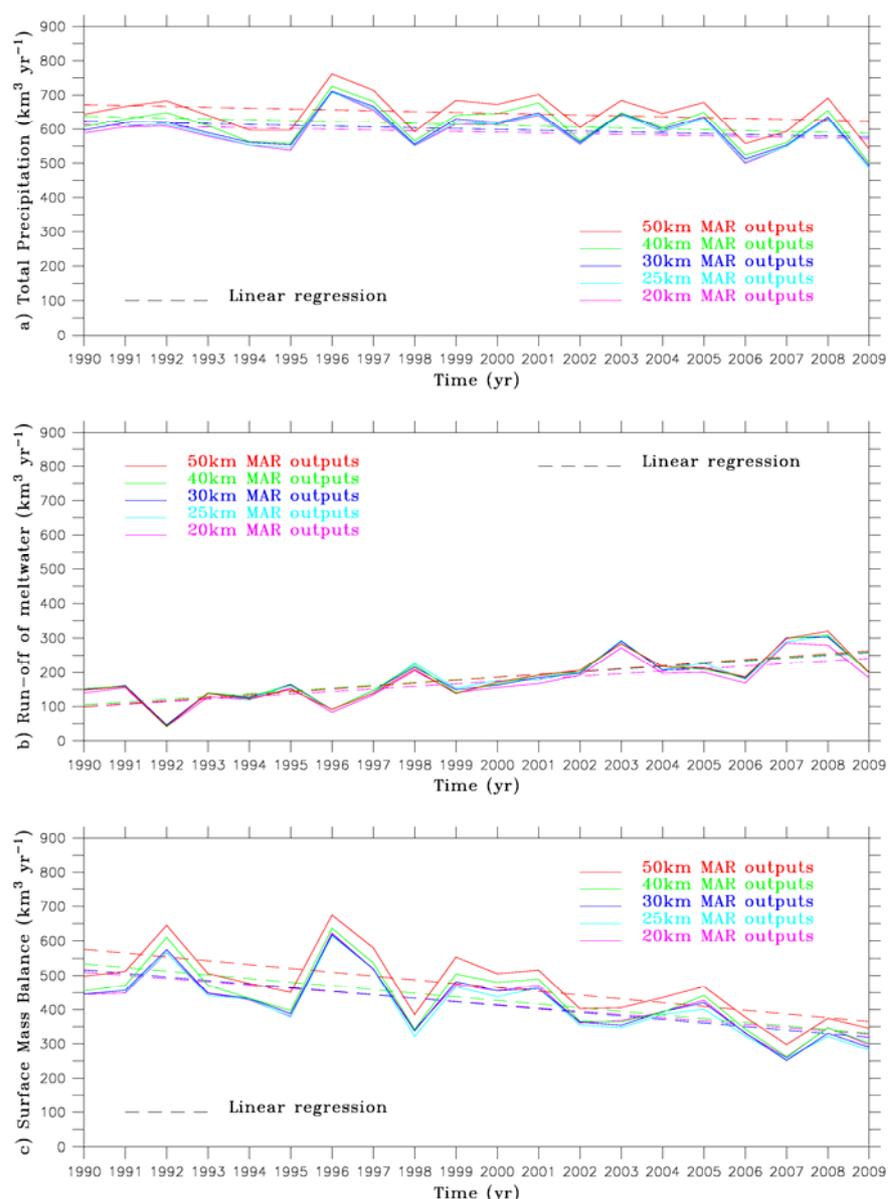


Figure 3 : a) Précipitations totales annuelles (km^3/yr) sur la calotte glaciaire du Groenland, simulées par le modèle MAR à 20, 25, 30, 40 et 50km de résolution et interpolées sur la grille à 15km du modèle MAR, pour le masque de glace commun à chaque simulation interpolée. b) Même que (a) pour le run-off (km^3/yr). c) Même que (a) pour le bilan de masse en surface (km^3/yr).

Cependant, après comparaison entre les sorties du MAR à 30km de résolution interpolées sur une grille à 20km, et les résultats du MAR provenant directement de simulations à 20km de résolution, nous remarquons certains biais le long des marges de la calotte glaciaire du Groenland (Figure 4), principalement en raison de la topographie fortement accidentée (jusqu'à $300\text{mmWE}/\text{yr}$ pour le run-off d'eau de fonte). C'est pourquoi nous développons un facteur correctif, appliqué à chaque point de grille, et basé sur la différence entre la topographie simulée à haute résolution par le MAR et la topographie de 30km interpolée sur la grille de 20km. La figure 4 présente un exemple de correction du run-off interpolé du MAR par un gradient local spécifique, calculé dans le voisinage direct de chaque point de grille. Cette méthode de correction permet d'atténuer de manière significative les biais provoqués par l'interpolation. Néanmoins, certaines améliorations sont encore nécessaires le long des marges de la calotte glaciaire, en raison des effets de bords.

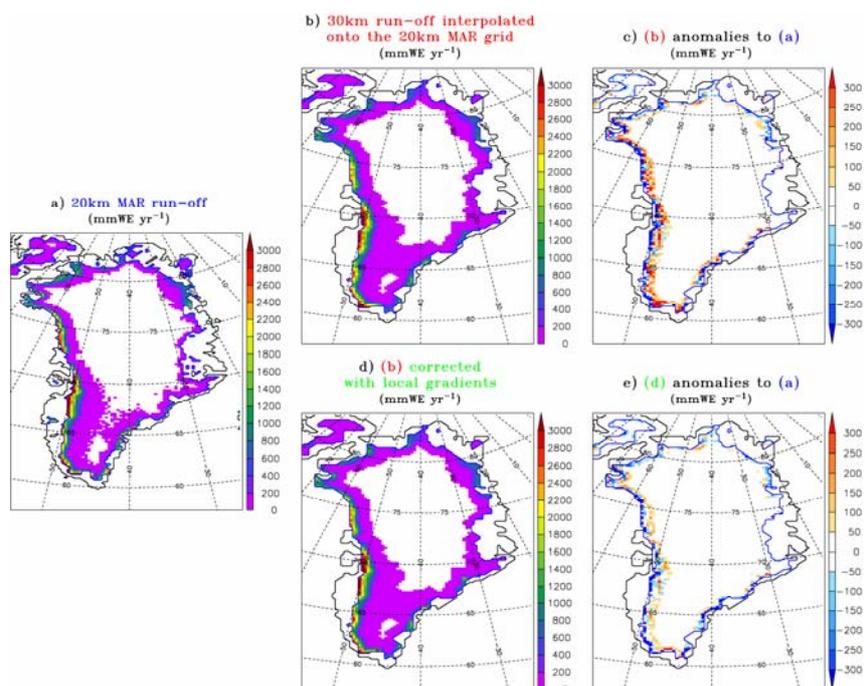


Figure 4 : a) Run-off annuel (mmWE/yr), simulé par le modèle MAR à 20km de résolution, sur la période 1990-2009. b) Run-off annuel (mmWE/yr), simulé par le modèle MAR à 30km de résolution, sur la période 1990-2009, et interpolé sur la grille 20km du modèle MAR. c) Anomalies (mmWE/yr) de (b) par rapport à (a). d) Run-off annuel (mmWE/yr), simulé par le modèle MAR à 30km de résolution, sur la période 1990-2009, interpolé sur la grille 20km du modèle MAR et corrigé par calcul de gradients locaux. e) Anomalies (mmWE/yr) de (d) par rapport à (a).

Conclusion

L'objectif de ce travail est tout d'abord d'évaluer la perte de précision engendrée par l'interpolation du bilan de masse en surface du modèle MAR sur une grille à plus haute résolution, en comparaison avec les résultats obtenus par des simulations du MAR à cette résolution. Nous tentons également de déterminer la résolution spatiale maximale requise afin de forcer efficacement un modèle de calotte glaciaire, au lieu d'employer les résultats de bilan de masse en surface provenant directement de simulations à très haute résolution, en tenant compte de l'important surcoût en temps de calcul que nécessitent de telles simulations à très haute résolution.

Bibliographie

Fettweis X (2007) Reconstruction of the 1979–2006 Greenland ice sheet surface mass balance using the regional climate model MAR. *The Cryosphere* **1**:21–40

Fettweis X, Tedesco M, van den Broeke M, Ettema J (2010) Melting trends over the Greenland ice sheet (1958–2009) from spaceborne microwave data and regional climate models. *The Cryosphere Discuss* **4**:2433–2473 doi:10.5194/tcd-4-2433-2010

Rahmstorf S, Crucifix M, Ganopolski A, Goosse H, Kamenkovich I, Knutti R, Lohmann G, Marsh R, Mysak LA, Wang Z, Weaver AJ (2005) Thermohaline circulation hysteresis: a model intercomparison. *Geophys Res Lett* **32**(23):L23605. doi:10.1029/2005GL023655

Tedesco M, Serreze M, Fettweis X (2008) Diagnosing the extreme surface melt event over southwestern Greenland in 2007. *The Cryosphere* **2**:159–166

Van de Wall RSW, Greuell W, van den Broeke MR, Reijmer CH, Oerlemans J (2005) Surface mass-balance observations and automatic weather station data along a transect near Kangerlussuaq, West Greenland. *Annals of Glaciology* **42**:311–316