

Rapport final du projet MASS2ANT- East Antarctic surface mass balance in the Anthropocene: observations and multiscale modelling

Le climat change rapidement aux hautes latitudes sud. Cela a de grandes conséquences dans la région mais aussi à l'échelle mondiale car l'Antarctique et l'océan Austral jouent un rôle majeur dans le bilan de l'énergie et du carbone de la Terre, ainsi que dans les variations du niveau de la mer. Cependant, alors que certains changements observés aux hautes latitudes sud peuvent sans ambiguïté être liés aux activités humaines, l'origine d'autres changements est moins claire et ce manque de compréhension limite notre capacité à effectuer des projections précises de l'évolution future du climat et du niveau des mers.

L'objectif de Mass2Ant était de réduire notre incertitude sur les moteurs des changements du bilan de masse de surface en Antarctique et, à partir de là, sur l'élévation du niveau de la mer. L'accent a été mis en particulier sur la Côte de la Princesse Ragnhild, dans l'Antarctique de l'Est, en raison de sa topographie et de sa dynamique complexes, tirant parti de l'emplacement de la station Princesse Elisabeth dans la région. De grands changements y sont observés et nous avons l'intention de déterminer comment les relier aux variations à grande échelle et ainsi avoir une vision intégrée de la contribution de la région au bilan de masse de la calotte antarctique.

L'une des réalisations du projet est la collecte et l'analyse de nouvelles données, y compris de nouveaux enregistrements tirés de deux longues carottes de glace, de données radar sur deux promontoires de glace, et des observations météorologiques et de la neige. Nous avons pu effectuer toutes les observations prévues dans le projet initial, malgré les fortes contraintes imposées au début du projet par l'annulation de la première campagne de terrain et plus tard par les restrictions dues à la pandémie de COVID. Nous avons même pu récolter des observations supplémentaires qui n'étaient pas initialement prévues grâce à des collaborations, des synergies avec d'autres projets et un soutien supplémentaire de BELSPO pour la saison de terrain 2021-2022. Ces données ont été analysées et comparées à celles publiées précédemment et aux résultats de modèles à différentes échelles, des modèles de neige locaux aux modèles climatiques régionaux et mondiaux. Toutes ces données sont désormais archivées dans des bases de données publiques en libre accès et, en plus de nos résultats scientifiques, sont l'un des héritages de Mass2Ant.

L'approche utilisée pendant la durée du projet Mass2Ant est unique car elle se base sur des techniques complémentaires avec différents types d'observations et de modèles, abordant des échelles spatiales et temporelles très différentes. Cela n'a été possible que grâce à la collaboration solide et efficace entre les partenaires et à leurs expertises combinées. Ceci est bien illustré par la liste des publications qui incluent, pour la grande majorité d'entre elles, des auteurs d'au moins deux groupes parmi les partenaires.

L'analyse des enregistrements des carottes de glace et les reconstructions basées sur l'assimilation des données ont permis de replacer les évolutions récentes dans une perspective à plus long terme. Cela a permis de montrer que, contrairement à l'Antarctique de l'Ouest où des tendances relativement claires peuvent être observées dans de nombreuses régions au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, avec un réchauffement et une accumulation accrue de neige (en particulier sur la péninsule antarctique), la situation est plus complexe sur l'Antarctique de l'Est. Dans les régions côtières de l'Antarctique de l'Est, les tendances de l'accumulation de neige peuvent être très différentes dans des endroits relativement proches. Nos résultats, y compris l'identification explicite de la causalité entre les changements observés, suggèrent que l'Antarctique de l'Ouest est plus directement lié au

changement climatique global et à la variabilité atmosphérique à grande échelle que la Côte de la Princesse Ragnhild. Cela ne signifie pas que cette connexion avec l'échelle plus large n'existe pas pour l'Antarctique de l'Est, mais elle peut souvent être obscurcie dans les enregistrements par l'effet des interactions locales et régionales entre l'océan, la glace, la topographie et la circulation atmosphérique.

Les changements passés et futurs en Antarctique sont également liés par les contributions relatives de différents processus aux changements des précipitations de neige. Les précipitations de neige et la température tendent à être liées à toutes les échelles temporelles avec un réchauffement généralement associé à plus de précipitations de neige en raison de l'augmentation de la pression de vapeur à saturation avec la température. Cela offre la possibilité d'améliorer les reconstructions de température à l'aide des enregistrements d'accumulation de neige avec l'assimilation des données et d'avoir un objectif clair pour évaluer le comportement des modèles climatiques régionaux à l'aide d'observations. Plus de précipitations sont également attendues à l'avenir, principalement à cause des tempêtes qui apporteront plus d'humidité en Antarctique dans un monde plus chaud.

Ce lien entre température et précipitations pour les tempêtes durant quelques jours, les tendances sur le 21^{ème} siècle et les évolutions sur les siècles passés, illustre bien l'intérêt d'analyser conjointement le passé récent, le passé plus lointain et le futur. Néanmoins, nous avons montré que les modèles ont tendance à surestimer le lien entre température et précipitations par rapport aux observations. Cela peut être dû à leur surestimation du rôle des changements à grande échelle, plaidant pour une analyse du lien entre les changements locaux, régionaux et à grande échelle. Ceci a été réalisé dans Mass2Ant à la fois du côté de la modélisation en comparant les résultats en terme d'accumulation neigeuse des modèles régionaux et mondiaux, en utilisant également la régionalisation statistique, et pour les observations en comparant les enregistrements d'accumulation neigeuse de carottes de glace, qui échantillonnent des emplacements séparés par des dizaines à des centaines de kilomètres, avec des relevés radar qui fournissent une estimation de l'accumulation neigeuse pour des régions de plusieurs kilomètres carrés.

En comparant les enregistrements de carottes de glace, les observations locales de neige et les données géoradar ainsi que les résultats des modèles, nous avons documenté la forte variabilité spatiale de l'accumulation de neige sur les promontoires de glace et les mécanismes responsables de cette variabilité, en particulier l'influence de la topographie sur les précipitations et la redistribution par les vents. Cela implique que l'accumulation moyenne mesurée par les carottes de glace peut être significativement différente de celle à l'échelle de quelques kilomètres telle qu'estimée dans les modèles régionaux. Cependant, les carottes de glace fournissent généralement une juste mesure de la variabilité temporelle de l'accumulation. Cette grande variabilité spatiale impose également d'être prudent dans la comparaison entre les simulations à grande échelle et les enregistrements locaux.

Plus généralement, le projet a montré le fort intérêt d'une approche complémentaire utilisant différents outils pour appréhender les mutations complexes de régions telles que la Côte de la Princesse Ragnhild. Grâce aux échanges au sein du groupe, nous avons pu avoir des interactions bidirectionnelles entre modèles et données, les données servant à valider les modèles et les modèles étant indispensables pour interpréter les données et leurs limites. L'intérêt des différents types d'observations a été mis en évidence par la comparaison entre les mesures locales de neige, les enregistrements des carottes de glace et les données radar et nous recommandons fortement de continuer à faire tous ces types d'observations dans les

futures campagnes de terrain pour pouvoir estimer quantitativement les incertitudes, en particulier celles des enregistrements de carottes de glace qui sont notre principale source d'information pour les variations d'accumulation neigeuse supérieures à quelques décennies. L'utilisation conjointe de modèles à différentes échelles a souligné leurs comportements communs, l'information supplémentaire apportée par des résolutions plus élevées, et l'intérêt de la régionalisation statistique pour représenter cette variabilité régionale à l'aide de modèles globaux. De plus, l'application d'une méthode récente basée sur une approche de causalité sur les résultats du modèle a identifié sans ambiguïté les dépendances dynamiques entre les variables qui pourraient être obscures en utilisant des diagnostics plus simples.

L'originalité de la démarche nous a permis de susciter l'intérêt d'autres scientifiques et des partenariats sans lesquels nous n'aurions pas pu obtenir tous les résultats présentés ici. Mass2Ant a également permis de nouvelles collaborations. Les enregistrements de carottes de glace ont été inclus dans une synthèse de données dirigée par le British Antarctic Survey (Royaume-Uni) et cette nouvelle synthèse sera utilisée dans de nouvelles reconstructions basées sur l'assimilation de données. Les informations locales obtenues dans le cadre du projet serviront de base à l'étalonnage des données satellitaires qui conduiront à de meilleures estimations à grande échelle du bilan de masse de surface de l'Antarctique. Les analyses radar ont abouti au développement d'une nouvelle collaboration entre l'UCLouvain, l'Institut Polaire Norvégien (à Tromsø, Norvège) et le Centre National de Recherche Polaire et Océanique (à Goa, Inde), pour étendre nos analyses à de nombreuses autres promontoires de glace le long de la région côtière de Dronning Maud Land.

Enfin, outre les résultats scientifiques, l'illustration de la plus-value de projets communs menés par une équipe complémentaire et des recommandations pour de futurs projets antarctiques, nos résultats ont servi à des évaluations qui sont des bases importantes pour la prise de décision, notamment pour le dernier rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC AR6). Les carottes de glace sont l'une des principales sources de données de bilan de masse de surface pour évaluer les simulations en Antarctique et obtenir le bilan de masse de surface à l'échelle de l'Antarctique, un exercice qui nous permet de déterminer les contributions présentes et futures de la calotte glaciaire à l'élévation du niveau de la mer, avec ses impacts sur la politique mondiale de gestion des côtes. Nous avons également largement diffusé nos résultats auprès du grand public durant tout le projet. Nous avons tenu un blog sur notre site pendant la campagne de terrain 2018/2019 pour le forage d'une des carottes profondes, nous avons participé à de multiples interviews radio et TV sur nos terrains et sur le climat Antarctique en général (La Première, BX1, Le Soir, l'Avenir, RTBF La Une, LN24), nous avons créé un vlog sur le terrain 2021/2022 (qui a reçu le Prix de la diffusion scientifique de l'ULB) et nous avons également tenu un workshop dans une école primaire sur les réalités des terrains polaires.

Mots clés : Antarctique, Station Princess Elisabeth, niveau de la mer, bilan de masse en surface, accumulation de neige.