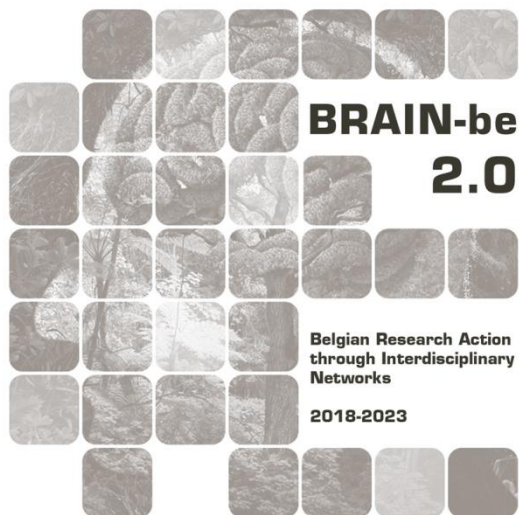


## **CLIMB**

### **Comment les interactions nuages-aérosols influencent-elles le bilan de masse en surface dans la partie orientale de l'Antarctique ?**

Alexander Mangold (RMI) – Andy Delcloo (RMI) – Nicole van Lipzig (KUL) – Florian Sauerland (KUM) – Michel Van Roozendaal (BIRA-IASB) – Alexis Merlaud (BIRA-IASB) – Martina M. Friedrich (BIRA-IASB) – Christophe Walgraeve (UGent) – Preben Van Overmeiren (UGent)

Pillar 1: Challenges and knowledge of the living and non-living world



NETWORK PROJECT

**CLIMB**

**Comment les interactions nuages-aérosols influencent-elles le bilan de masse en surface dans la partie orientale de l'Antarctique ?**

Contrat - B2/191/P1/CLIMB

**Rapport Final**

**14/07/2023**

**PROMOTEURS:** Dr. Alexander Mangold, Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI)  
Prof. Dr. Nicole van Lipzig, Katholieke Universiteit Leuven (KUL)  
Dr. Michel Van Roozendael, Royal Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB)  
Prof. Dr. Christophe Walgraeve, Universiteit Gent (UGent)

**AUTEURS:** Dr. Alexander Mangold (RMI) – Dr. Andy Delcloo (RMI)  
Prof. Dr. Nicole van Lipzig (KUL) – MSc Florian Sauerland (KUL)  
Dr. Michel Van Roozendael (BIRA-IASB) – Dr. Alexis Merlaud (BIRA-IASB)  
Dr. Martina M. Friedrich (BIRA-IASB) – Prof. Dr. Christophe Walgraeve (UGent)  
MSc Preben Van Overmeiren (UGent)





Published in 2023 by the Belgian Science Policy Office

WTCIII

Simon Bolivarlaan 30 bus 7

Boulevard Simon Bolivar 30 bte 7

B-1000 Brussels

Belgium

Tel: +32 (0)2 238 34 11

<http://www.belspo.be>

<http://www.belspo.be/brain-be>

Contact person: Maaïke Vancauwenberghe

Tel: +32 (0)2 238 36 78

Neither the Belgian Science Policy Office nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy Office is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference:

MANGOLD, A., DELCLOO, A., VAN LIPZIG, N., SAUERLAND, F., VAN ROOZENDAEL, M., MERLAUD, A., FRIEDRICH, M. M., WALGRAEVE, C., VAN OVERMEIREN, P. ***How do aerosol-Cloud Interactions influence the surface Mass Balance in East Antarctica? - CLIMB***. Final Report. Brussels: Belgian Science Policy Office 2023 – 7 p. (BRAIN-be 2.0 - (Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks))

## **ABSTRACT**

### **Contexte**

Le cycle de l'eau, la microphysique des nuages et les interactions nuages-aérosols sont reconnus comme des éléments clés du système climatique de l'Antarctique par plusieurs consortiums internationaux, tels que le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les nuages et les aérosols jouent un rôle important dans le bilan énergétique radiatif et les aérosols ont un impact sur la microphysique des nuages parce qu'ils sont des noyaux de condensation et de glace. En outre, les nuages constituent un élément important du cycle hydrologique en tant qu'agent reliant le transport de vapeur d'eau dans l'Antarctique aux précipitations. Les précipitations étant le seul terme source dans le bilan de masse de surface de la calotte glaciaire de l'Antarctique, elles constituent l'un des principaux facteurs influençant le niveau de la mer. Cependant, les connaissances actuelles sur l'interaction entre les nuages, les précipitations et les aérosols dans l'Antarctique sont encore limitées, tant en ce qui concerne les observations directes que les modèles climatiques régionaux.

CLIMB s'est appuyé sur une équipe de recherche interdisciplinaire, réunissant des scientifiques possédant des compétences complémentaires dans le domaine des travaux expérimentaux à long terme liés à la chimie et à la physique de l'atmosphère, des campagnes de recherche en Antarctique, de la modélisation du climat régional, des processus de transfert radiatif et des analyses chimiques de pointe.

CLIMB a effectué des mesures des caractéristiques météorologiques, des aérosols, des nuages et des précipitations, à la fois à proximité de la station Princess Elisabeth Antarctica (PEA) et à une altitude suffisamment élevée et exposée aux vents d'est pour être souvent au niveau des nuages. En plus de l'échantillonnage étendu du filtre de particules de noyaux de glace (INP) à PEA, il y avait (i) des profils résolus verticalement de la température, de l'humidité relative et de la pression pour trois hauteurs : à la PEA (1390 m d'altitude), au sommet du nunatak d'Utsteinen (environ 1600 m d'altitude) et dans les montagnes de Vikinghogda (2350 m asl) ; (ii) des mesures du type et de l'intensité des précipitations par un disdromètre; (iii) des mesures de la distribution de la taille des particules dans les montagnes de Vikinghogda ; et (iv) un système d'échantillonnage automatisé pour les composés organiques volatils (COV), également dans les montagnes éloignées de Vikinghogda. Les résultats ont été utilisés pour améliorer la paramétrisation des aérosols, des nuages et des précipitations dans un modèle climatique régional pour l'Antarctique de l'Est.

### **Objectifs**

Les objectifs de CLIMB étaient les suivants:

- fournir un ensemble unique de données sur les caractéristiques météorologiques, les aérosols et les nuages, combinées à des mesures simultanées de la couche limite et de la télédétection au sol.;
- établir un ensemble de données avec une cartographie détaillée des origines des masses d'air et des voies de transport dans l'Antarctique de l'Est ;
- générer un modèle climatique régional COSMO-CLM<sup>2</sup> amélioré pour l'Antarctique;

- améliorer la compréhension de l'effet climatologique de la condensation des nuages et des particules de noyaux de glace sur les nuages, les précipitations, le rayonnement et le bilan de masse en surface dans l'Antarctique de l'Est;
- renforcer le rôle de la Belgique dans la communauté de recherche sur l'Antarctique;
- valoriser les résultats par des publications scientifiques et des ateliers, un accès ouvert aux données, des conférences au grand public et des contributions à la presse.

## Conclusions

- L'AOD a été déterminée à la fois par le photomètre solaire CIMEL et par les mesures MAX-DOAS. Pour trois saisons de l'été austral, il existe des données qui se chevauchent. Les valeurs typiques de l'AOD dans les domaines UV et visible de 0.02 à 0.04 ont été trouvées, proches de celles précédemment rapportées dans la littérature pour l'Antarctique vierge.
- Les mesures MAX-DOAS ont été exploitées pour déduire l'abondance de l'ozone stratosphérique, la colonne verticale de NO<sub>2</sub> et la concentration d'OCIO – des espèces chimiques clés impliquées dans les processus à l'origine du trou d'ozone. Les mesures effectuées en 2022 ont montré l'accumulation d'OCIO pendant les mois de juillet et août, la dénitrification/dénoxydation induite par les nuages stratosphériques polaires, et l'appauvrissement de l'ozone correspondant, atteignant une valeur minimale d'ozone total de 126 DU à la fin du mois d'octobre.
- Une forte variation de la différence de température entre le nunatak d'Utsteinen et la crête (environ 200 m de différence d'altitude) a été constatée, plus importante que ce qui pourrait être expliquée par la simple différence d'altitude.
- L'analyse de la 'cloud phase' a montré que les nuages contenant du liquide étaient beaucoup plus fréquents pendant l'été austral, où l'on a détecté de l'eau liquide dans environ un tiers de tous les nuages, que pendant les autres saisons. Il a été constaté que ces événements étaient liés à des vents plutôt septentrionaux dans la haute atmosphère.
- L'échantillonneur automatisé spécialement conçu pour les COV s'est avéré capable de prélever plusieurs échantillons de décembre 2019 à octobre 2020. Cela a conduit au premier ensemble de données de 66 COV (oxygénés) rapporté pour l'Antarctique de l'Est. Pour la première fois en Antarctique, ces composés ont été échantillonnés avec succès de manière séquentielle et automatisée pour une analyse ultérieure hors ligne. Les analyses en laboratoire ont permis de constituer un ensemble de données couvrant différents groupes de composés organiques (tels que les composés aromatiques et les hydrocarbures halogénés), allant de très réactifs à très persistants, avec des poids moléculaires allant de 46 à 253 g/mol. Les concentrations varient de 0.5 ng/m<sup>3</sup> (méthylbenzoate) à 20 µg/m<sup>3</sup> (acide benzoïque). Près de la moitié des espèces détectées dans les échantillons étaient des composés oxygénés.
- Au cours de deux saisons d'été austral, des échantillons ont été prélevés pour l'analyse de la concentration de particules de nucléation de la glace (INP). Par rapport aux études menées dans d'autres régions de l'Antarctique, les nombres de INP trouvés pour la PEA se situent à

la limite inférieure. Il s'agit d'une découverte importante, en particulier pour les études de modélisation de l'influence des aérosols sur la formation des nuages et les précipitations. Les mesures du calibre optique de particules ont indiqué que la concentration de particules supérieures à 500 nm (tailles pertinentes pour l'INP) était très faible. Dans l'ensemble, le continent antarctique lui-même ne semblait pas être un contributeur important à l'INP.

- Le modèle climatique régional COSMO-CLM2 a été adapté et amélioré pour étudier l'effet de l'INP sur les nuages et le climat de l'Antarctique de l'Est. Le modèle s'est avéré représenter avec précision la hauteur et l'occurrence des nuages. Une forte anti-corrélation entre la concentration d'INP et le contenu en eau liquide a été trouvée, y compris des concentrations d'INP représentatives de la région autour de PEA. Dans l'ensemble, les résultats de CLIMB indiquent que la connaissance de la concentration exacte d'INP, tant qu'elle se situe dans une fourchette réaliste pour la région, n'est pas strictement nécessaire pour une bonne performance du modèle. Toutefois, une faible concentration d'INP a entraîné une augmentation de l'effet radiatif des nuages, tant pour le rayonnement à ondes courtes que pour le rayonnement à ondes longues. Ces effets opposés s'annulent principalement pendant l'été austral, tandis que pendant l'hiver, l'absence de rayonnement à ondes courtes entrant a entraîné un effet de réchauffement plus important grâce à l'augmentation du rayonnement à ondes longues réfléchi.
- Une climatologie des trajectoires des masses d'air rétrogrades a été établie pour la région de l'Antarctique de l'Est autour de PEA, couvrant une période de 11 ans (2010-2020). Une analyse en classification automatique (k-means) a été réalisée et quatre groupes d'origine des masses d'air ont été trouvés. Les résultats montrent que les masses d'air d'origine continentale antarctique ont dominé les régions sources potentielles, suivies par l'océan Austral. Les contributions des autres continents se sont avérées marginales. Sur l'ensemble des saisons, le continent antarctique, avec des masses d'air situées entre 1400 et 8000 m, était la région source dominante, avec principalement le niveau d'altitude entre 1400 et 4000 m. La source continentale antarctique était la plus importante pendant l'été austral, avec plus de 80 % de contribution. Les masses d'air d'origine maritime étaient les plus importantes pendant l'hiver austral. Cela illustre l'importance des sources du continent antarctique lui-même, liée également à la subsidence des masses d'air froid pendant l'été austral, et l'importance des schémas météorologiques synoptiques tels que les cyclones pendant l'hiver austral.

Ces résultats démontrent clairement la valeur de l'approche interdisciplinaire du projet CLIMB, qui combine l'expertise dans les travaux expérimentaux à long terme liés à la chimie et à la physique de l'atmosphère, l'expertise dans les campagnes de recherche en Antarctique, la modélisation du climat régional, les processus de transfert radiatif, et l'expertise dans les analyses chimiques de pointe. Bien que des progrès considérables aient été réalisés, certaines lacunes ont été identifiées et devront être comblées dans le cadre des recherches futures. Afin de mieux distinguer les régions sources potentielles, il faudrait davantage d'échantillons, couvrant plusieurs années et avec une résolution

temporelle plus élevée, en particulier pendant l'hiver. Les sites de mesure situés près de la côte présentent l'avantage d'être plus souvent touchés par le transport en provenance de l'océan Austral et potentiellement des latitudes plus basses que les sites situés à l'intérieur de l'Antarctique. Les simulations des modèles de transport atmosphérique actuels présentent de grandes incertitudes lorsqu'il s'agit de simuler plusieurs semaines de transport atmosphérique, ce qui semble pourtant nécessaire. Par conséquent, une modélisation plus précise et des données provenant de mesures seraient nécessaires pour démêler la manière dont les composés atmosphériques provenant de latitudes plus basses atteignent l'Antarctique de l'Est. Le modèle climatique régional COSMO-CLM2 a été adapté et amélioré et s'est avéré représenter avec précision la hauteur et l'occurrence des nuages. En ce qui concerne la formation de glace dans les nuages, un sujet qui n'a pratiquement pas été exploré est la formation de glace secondaire, qui n'a pas été entièrement implémentée dans le modèle modifié, mais dont on sait qu'elle a des effets importants sur la structure et la phase des nuages. Des recherches supplémentaires sont également nécessaires pour différencier les effets de la modification de la phase des nuages sur les effets radiatifs des effets de la modification de la teneur totale en eau.

### **Mots-clés**

Interaction aérosols-nuages-précipitations / Particules nucléantes de glace / Modélisation régionale du climat / Climat de l'Antarctique de l'Est / Composés organiques volatils