



UNIVERSITÉ DE  
GRENOBLE

Soutenance de thèse

# Couches limites atmosphériques en Antarctique

Observation et simulation numérique

présentée par Hélène Barral

**le mercredi 26 novembre à 14 h**

Salle Louis Lliboutry

Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement

Campus universitaire

54 rue Molière

Saint Martin d'Hères

devant le jury composé de :

Mme Guylaine Canut, Chargée de recherche au CNRM, Toulouse, *Examinatrice*,

Mme Florence Naaim-Bouvet, Directrice de recherche à l'IRSTEA, Toulouse, *Examinatrice*,

M. John C. King, Science Leader au BAS, UK, *Rapporteur*

M. Alain Weill, Directeur de recherche au LATMOS, Paris, *Rapporteur*

M. Christophe Brun, Maître de conférence à l'UJF, LEGI, Grenoble, *Directeur de thèse*

M. Christophe Genthon, Directeur de recherche au CNRS, LGGE, Grenoble *Directeur de thèse*.

# 1 Résumé en français

La surface enneigée du continent Antarctique, sauf pour quelques heures les après-midi d'été, se refroidit constamment radiativement. Il en résulte une stratification stable persistante de la couche limite atmosphérique qui alimente un écoulement catabatique le long des pentes qui descendent du plateau vers l'océan. Les inversions de températures et les vitesses de vents associées sont extrêmes l'hiver où une inversion moyenne de 25°C sur le plateau et des vitesses dépassant les 200 km/h sur la côte sont régulièrement observées. L'été, les inversions restent très marquées la nuit, mais le réchauffement de la surface par le soleil conduit au développement de couches convectives l'après midi. Des replats et des pentes immenses et vides, inlassablement recouverts de neige : l'Antarctique est un laboratoire unique pour étudier les transitions entre les régimes turbulents, et surtout la turbulence dans les couches limites stables et catabatiques. Des processus délicats à étudier, puisque très sensibles aux hétérogénéités de la surface.

Ce travail de thèse documente trois cas d'école estivaux typiques : le cycle diurne sur le plateau Antarctique, la génération d'un écoulement catabatique local, et la couche limite soumise à un forçage catabatique. Ces trois situations ont été explorées avec des observations in-situ. Pour deux d'entre elles, les observations ont nourri et ont été complétées par des simulations avec le modèle atmosphérique Méso-NH.

Le premier cas s'intéresse au cycle diurne au Dôme C. Le Dôme C, sur le plateau Antarctique est une zone plate et homogène éloignée des perturbations océaniques. Depuis quelques années, une tour de 45 m échantillonne la couche limite. L'été, un cycle diurne marqué est observé en température et en vent avec un jet de basse couche surgéostrophique la nuit. Une période de deux jours, représentative du reste de l'été, a été sélectionnée, pour la construction du cas d'intercomparaison GABLS4, préparé en collaboration avec Météo-France. Les simulations uni-colonnes menées avec le modèle Méso-NH ont montré la nécessité d'adapter le schéma de turbulence afin qu'il puisse reproduire à la fois les inversions de température et l'intensité de la turbulence mesurées.

Le deuxième cas d'école examine un écoulement catabatique généré localement, au coucher du soleil, observé sur une pente de 600 par 300 m en Terre Adélie. Certaines caractéristiques de la turbulence, en particulier l'anisotropie, ont été explorées à l'aide de simulations à fine échelle (LES).

Le troisième cas s'intéresse à la couche limite mélangée typique des zones côtières soumises à un vent intense. Ce vent d'origine catabatique, a dévalé les 1000 km de pente en amont. En remobilisant la neige, il interagit avec le mélange turbulent. Le travail s'est intéressé dans ce troisième cas à l'impact du transport de neige sur l'humidité de l'air et au calcul des flux turbulents à partir des profils de température, vent et humidité.

**Mots-clés :** Antarctique, couche limite atmosphérique stable, vent catabatique, transport de neige par le vent, mélange turbulent, simulation numérique, observations.

## 2 Résumé public

L'Antarctique est une calotte de glace dont l'épaisseur dépasse par endroit les 3000 mètres. Cette calotte est recouverte d'une surface de neige, souvent plus froide que l'air : on appelle ce phénomène une inversion de température. Les inversions de température très courantes en Antarctique le sont moins sous nos latitudes, mais on en mesure parfois, lors des nuits sans nuage par exemple, ou bien, dans la vallée grenobloise au cours des épisodes anticycloniques hivernaux. Les inversions de température inhibent en partie les échanges de chaleur et d'énergie entre la surface et l'atmosphère. En particulier, les échanges turbulents sont confinés dans une couche très fine de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mètres : la couche limite. Aussi, sur les terrains inclinés, les inversions de température donnent naissance à des vents froids qui descendent les pentes par gravité. Ce sont les vents catabatiques.

En Antarctique les inversions de température sont persistantes et les pentes sont immenses, il en résulte des vents très forts pouvant atteindre les 300 km/h sur les côtes. Ces vents impactent les courants atmosphériques à l'échelle du globe, mais aussi les courants océaniques puisqu'ils contrôlent en partie la répartition et le taux de production de glace de mer.

Ce travail s'est intéressé aux couches limites rencontrées dans trois régions particulières de l'Antarctique : le plateau intérieur, les pentes qui descendent du plateau à la côte et la côte de la Terre Adélie. Le mémoire décrit les échanges turbulents entre la surface et l'atmosphère au moyen d'observations et de simulations numériques. Ces recherches ont pour but, à la fois de comprendre comment la neige s'accumule à la surface de la calotte, ou au contraire comment elle disparaît, par fonte ou sublimation. Au delà du continent Antarctique, ces recherches s'intéressent aux échanges turbulents entre la surface et l'atmosphère, dans les cas d'inversion de température, afin d'améliorer leurs représentations dans les modèles de prévision du temps et les modèles de climat.

### 3 Résumé en anglais

Except during a few summer afternoon hours, the snow-covered surface of Antarctica is constantly cooling because of radiative processes. This results in a stable, persisting stratification of the atmospheric boundary layer that feeds katabatic winds along the slopes descending from the Plateau to the Ocean. Temperature inversions and wind speeds both peak during the winter, with inversions regularly reaching 25 degrees (C) over the Plateau and winds exceeding 200 km/h along the coast. In the summer, significant inversions remain at night but solar heating leads to the formation of convective layers near the surface in the afternoon. With berms and large, empty slopes constantly covered with snow, Antarctica is a unique and perfect laboratory for the study of transitions between turbulent regimes and of the turbulence within stable and katabatic boundary layers. The investigation of these processes is usually made difficult by their sensitivity to heterogeneities at the surface.

This thesis work documents three typical "text-book" summer cases: the diurnal cycle on the Antarctic Plateau, the generation of a local katabatic wind and the katabatic forcing of the boundary layer. The investigation of these three cases uses in-situ data. For two of these cases, the observational data has been completed with some Meso-NH model simulation outputs.

The first case focusses on the diurnal cycle at Dome C. On the Antarctic Plateau, Dome C is a flat, homogeneous area far from oceanic perturbations. Since a few years, a 45 meters tower samples the boundary layer there. In the summer, the diurnal cycle there is characterized by clean signals in both temperature and winds, with a nocturnal low-level jet within the boundary layer. A two-days data set representative of the rest of the summer has been selected for analysis and is used in the GABLS4 comparison study prepared in collaboration with Meteo France. Single-column simulations have been run for this comparison work launched in June.

The second case examines a local katabatic flow generated at sunset over a 600 by 300 meters slope in Terre Adelie. Characteristics of the turbulence of this flow, in particular, its anisotropy, are investigated using small-scale model simulations. A measuring station has been deployed in order to prepare and evaluate these simulations.

The third case is concerned with boundary layers typical of coastal areas with strong winds of katabatic origins, which have flown over 1000 km-long slopes towards the sea. By moving around the snow at the surface, these winds interact with turbulent mixing processes. For this final case, the work is interested in the impact of blowing snow on atmospheric moisture and with the calculation of turbulent fluxes based on temperature, wind and humidity profiles.

**Keywords :** Antarctica, stable atmospheric boundary layer, katabatic wind, turbulent mixing, numerical simulation, observation.