

## Soutenance de thèse CNRM

*mercredi 17 décembre 2025 à 14h*

### HÉTÉROGÉNÉITÉS DE LA TEMPÉRATURE EN MONTAGNE : VERS UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DANS AROME

par **Danaé PREAUX (CNRM/GMAP)**

**en salle Noilhan**

**Lien** visio : [https://meteo.webex.com/meteo/j.php?  
MTID=ma0b9eb4901dcd934a9c17224489b3c36](https://meteo.webex.com/meteo/j.php?MTID=ma0b9eb4901dcd934a9c17224489b3c36)

Encadrement : Isabelle Gouttevin (CNRM/CEN/CENOBS) et Ingrid Etchevers (CNRM/GMAP/PROC)

Jury :

Vincent VIONNET, Rapporteur  
Haraldur OLAFSSON, Rapporteur  
Matthieu PLU, Examinateur  
Martin MENEGOZ, Examinateur  
Yann SEITY, Invité

#### Abstract

In mountainous areas, high-impact weather conditions sometimes endanger the safety of people and property. High-resolution numerical weather prediction (NWP) models aim to enable the forecasting of these dangerous phenomena.

Near-surface temperature is a key element of these predictions. It influences pollution episodes, precipitation patterns, road traffic conditions, changes in snow cover, and consequently, the avalanches hazard. However, the topography of mountainous regions complicates physical processes, creating temperature heterogeneities that models struggle to capture. This study aims to improve our understanding of the influence of these heterogeneities on temperature forecasting in mountainous areas, with a view to incorporating them into models. It is based on the Arome high-resolution NWP model used by Météo-France.

In a numerical weather prediction model, assimilation aims to reach an initial state of the atmosphere that is as representative as possible, based on forecasts and observations. However, observational networks show disparities in the distribution of stations in mountainous regions, with a greater density in valleys than on peaks, as well as differences in the height at which temperature is measured. Indeed, high-altitude stations such as Météo-

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

## CNRM, UMR 3589

France's "nivôses", which are designed for significant snow depths, have their temperature sensors positioned higher up than in the plains. However, Arome's assimilation ignores these differences in height. We demonstrate that this leads to an overestimation of the analyzed temperatures in the mountains, particularly above 2000 metres, and causes frequent rejection of observations from high-altitude stations. Secondly, the method used in Arome for the assimilation of altitude data, does not account for the effects of orography which can result in geographically close stations having very different characteristics. We demonstrate that this is detrimental to the analysis, generating corrections that enhance rather than correct inherent biases. This highlights the added value of better considering topography when designing structure functions for assimilation systems in mountain regions.

Regarding model evaluation, previous studies identified a cold night-time bias for the screen-level temperature in Arome, which was particularly pronounced in mountain in winter. However, in reality, high mountain observations primarily enable scores to be calculated at the first level of the model rather than at 2 m. Following a re-evaluation, we found that a daytime cold bias, primarily in spring, and a slight night-time warm bias are present in high mountains at this level. In contrast, the bias at 2 m can only be evaluated at a limited number of instrumental sites. Therefore, it is essential to consider the height of the measurement above ground level for an objective characterisation of model biases, which is an indispensable prerequisite for understanding and correcting them. We also show that the topographical context and seasonality are important ingredients in this characterisation, although they are not without limitations.

Finally, Arome's temperature biases are most evident under stable conditions. Various methods aimed at improving their representation are therefore being examined. Combining a finer vertical resolution with increased turbulent exchange gives very promising results for a more realistic representation of the temperature profile in high mountains. However, these changes are not enough to entirely resolve Arome's native biases. Therefore, other avenues of research need to be explored in the future, such as improving soil and snow schemes in this NWP system, representing katabatic flows, and making progress in representing turbulent exchange within mountain boundary layers, in order to fully understand and resolve the temperature biases in numerical weather prediction models for mountainous regions.

## Résumé

En montagne la sécurité des personnes et des biens est parfois mise à mal par les aléas météorologiques. Les modèles de prévision numérique du temps (PNT) à haute résolution spatiale ont pour objectif de permettre l'anticipation de ces phénomènes dangereux.

La température de l'air proche de la surface en est un paramètre majeur. Elle impacte les épisodes de pollution, la phase des précipitations et les conditions de circulation routières, l'évolution du manteau neigeux et par transition, le risque d'avalanche. Cependant, la topographie des régions montagneuses y complexifie les processus physiques, engendrant des hétérogénéités de températures que les modèles peinent à prévoir. Cette thèse a pour objectif de mieux comprendre l'influence de ces hétérogénéités sur la prévision de température en montagne, en vue de leur prise en compte. Elle s'appuie sur le modèle Arome utilisé à Météo-France.

Dans un modèle de PNT, l'assimilation a pour but d'obtenir un état initial de l'atmosphère le plus représentatif possible à partir d'une ébauche et d'observations. Or, les réseaux d'observation présentent des disparités dans la répartition des stations en zones de

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

### CNRM, UMR 3589

montagne, plus dense en vallées que sur les sommets ; mais aussi dans la hauteur de mesure de la température. En effet, les stations de haute montagne, comme les "nivôses" de Météo-France, conçues pour des hauteurs de neige importantes, voient leur capteur de température positionné à une hauteur plus élevée qu'en plaine. Or ces différences de hauteurs sont ignorées dans l'assimilation d'Arome. Nous démontrons que cette approximation mène à une analyse trop chaude en montagne, plus particulièrement au-dessus de 2000 m. Par ailleurs, elle provoque un rejet fréquent des observations de haute montagne.

En second lieu, la méthode utilisée dans Arome pour l'assimilation d'altitude ne prend pas en compte l'effet du relief, qui peut rendre très différentes des stations pourtant proches géographiquement. Nous montrons que cela nuit à l'analyse, en engendrant des corrections qui accentuent les biais natifs au lieu de les corriger. La plus-value d'une meilleure prise en compte du relief dans les fonctions de structure de l'analyse est ainsi montrée.

Au niveau de l'évaluation du modèle, des études précédentes identifiaient pour Arome un biais froid nocturne à 2 m, très marqué en hiver. En réalité, nous montrons que les observations de haute montagne permettent surtout de calculer des scores au premier niveau du modèle, et non pas à 2 m. Après revisite, un biais froid diurne, principalement au printemps, et un léger biais chaud nocturne sont présents en haute-montagne à ce niveau, tandis que le biais à 2 m peut seulement être évalué à un nombre limité de sites instrumentaux. Il apparaît donc majeur de considérer la hauteur de la mesure au-dessus du sol, pour une caractérisation objective des biais des modèles : un pré-requis indispensable à leur compréhension et correction. Nous montrons par ailleurs que le contexte topographique et la saisonnalités sont des ingrédients importants de cette caractérisation, non exempts toutefois de limites.

Enfin, les biais de température d'Arome sont particulièrement marqués en conditions stables. Aussi, différentes méthodes visant à en améliorer la représentation sont examinées. Une représentation verticale plus fine, combinée à des échanges turbulents augmentés, donnent des résultats très prometteurs pour la représentation du profil de température en haute-montagne. Toutefois, dans le cas d'Arome, ces changements ne suffisent pas à résoudre les biais natifs. D'autres pistes, comme l'amélioration des schémas de sol et de neige, la représentation des courants catabatiques et plus généralement des progrès dans la représentation des échanges turbulents au sein des couches limites de montagne, seront donc à explorer à l'avenir pour comprendre et résoudre de façon plus avancée les biais de températures des modèles de prévision numérique du temps en montagne.

**Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)**

Centre National de Recherches Météorologiques  
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex