

Modélisation de l'évolution de la neige soufflée et évaluation de la variabilité spatiale induite

Soutenance de thèse de Ange Haddjeri, CNRS, CNRM, Centre d'étude de la neige



Lundi 22 Avril à 14h30

Salle Écrin de l'INRAE

2 Rue de la Papeterie, 38402 Saint-Martin-d'Hères

Visioconférence :

[https://meteo.webex.com/meteo-fr\[...\]393](https://meteo.webex.com/meteo-fr[...]393)

Composition du jury:

M. Juan Ignacio LÓPEZ MORENO IPE/CSIC (rapporteur)

M. Ulrich STRASSER de l'Université d'Innsbruck (rapporteur)

M. Patrick WAGNON IRD - IGE (examinateur)

M. Simon GASCOIN CNRS-CESBIO (examinateur)

Mme Marie DUMONT Météo-France/CEN (directrice de thèse)

M. Matthieu LAFAYSSSE Météo-France/CEN (directeur de thèse)

Résumé de la thèse en français :

Le manteau neigeux est un composant essentiel du cycle hydrologique terrestre ainsi qu'un régulateur clé du climat. En dehors des régions polaires, c'est dans les montagnes que la neige est la plus répandue. La couverture neigeuse alpine est particulière et présente une grande variabilité spatiale et temporelle. Une connaissance précise de cette variabilité est primordiale pour l'approvisionnement en eau douce, la production d'hydroélectricité et la prévision des risques. L'observation et la simulation numérique sont des outils complémentaires pour estimer les évolutions de la couverture neigeuse. En France, le modèle de neige ISBA-Crocus fournit une évaluation quotidienne à grande échelle des conditions d'enneigement alpines. Les évolutions futures de ce système reposeront sur une résolution horizontale de 250 m, nécessaire pour mieux décrire la topographie des montagnes. Cette résolution requiert la représentation de processus de variabilité supplémentaires tels que le transport de neige par le vent. Aussi, l'évaluation spatiale de simulation d'enneigement alpine est encore un défi, du fait de la rareté des observations en zone de montagne et de la forte interaction entre les divers processus contribuant à la forte variabilité spatiale observée. Dans ce contexte, l'objectif de ce doctorat est de développer puis d'évaluer un nouveau système spatialisé de simulation de neige alpine, comprenant la simulation du transport de neige par le vent. L'accent sera mis sur les méthodes d'évaluation spatialisées utilisant des observations satellites, nécessaires à l'évaluation de ces systèmes.

Dans la première partie, nous présentons l'élaboration et le développement du modèle de transport de neige par le vent SnowPappus. Ce modèle est couplé au système de simulation ISBA-Crocus et conçu pour être appliqué à des domaines 2D de simulation alpine couvrant de larges étendues spatiales et temporelles (toutes les chaînes de montagnes françaises et plusieurs années). Notre modèle SnowPappus simule l'occurrence de la neige soufflée, le flux de transport horizontal et le taux de sublimation de la neige en fonction du forçage atmosphérique et des paramètres de la surface de la neige.

Secondement, nous confrontons des images satellites à nos simulations spatialisées réalisées avec le modèle de transport SnowPappus sur une région de 902 km² dans les Alpes françaises et trois saisons d'enneigement complètes. Les simulations de hauteur de neige sont comparées aux observations obtenues à partir des satellites de stéréo-imagerie Pléiades, ainsi que les dates de fonte simulées, confrontées aux observations des satellites optiques de Sentinel-2. La sensibilité des simulations spatiales à différents jeux de données de précipitations est également analysée. Nos résultats montrent que le modèle SnowPappus améliore la variabilité spatiale à haute altitude et à proximité des sommets et des crêtes. Notre étude illustre la nécessité de tenir compte des erreurs spatiales des forçages de précipitations ainsi que de la variabilité sous-maille pour des évaluations spatiales de neige plus robustes.

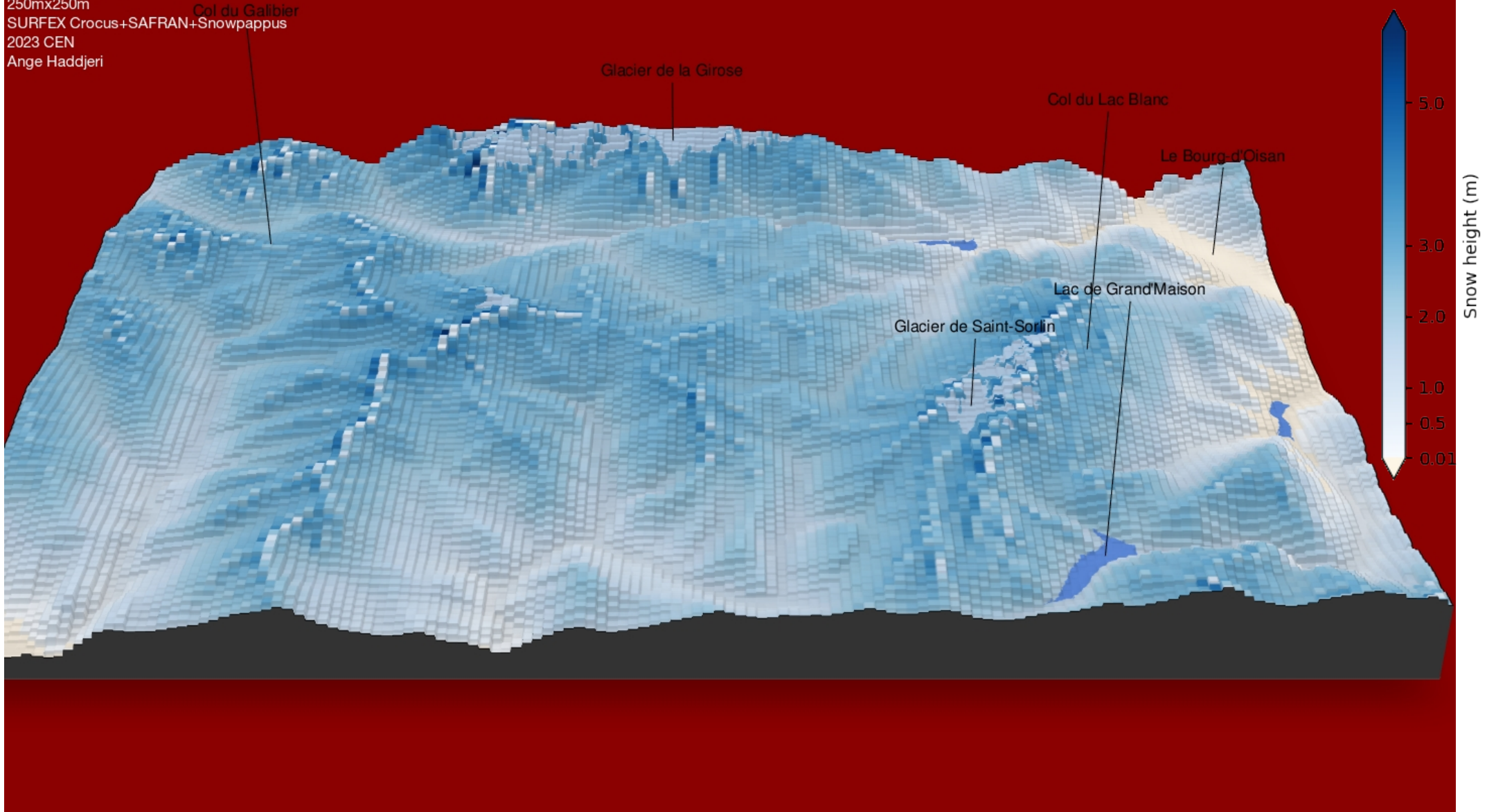
Enfin, nous testons et adaptions des méthodes de vérification Fuzzy (ou floues). Ces méthodes ont été développées pour l'évaluation de simulations atmosphériques et sont adaptées aux simulations de neige. Ces méthodes d'évaluations ajoutent la possibilité d'évaluer l'adéquation spatiales entre les observations et les simulations. Bien que ces techniques de vérification Fuzzy permettent de mieux qualifier l'adéquation spatiale des simulations aux observations, elles ne permettent pas de démêler les compensations d'erreurs entre les erreurs de localisations et d'intensités, ce qui constitue de forte limitation à leur application. Les avancées de ce travail permettent d'identifier les points forts et les points faibles des simulations de neige alpine haute résolution ainsi que la valeur ajoutée d'une représentation explicite du transport de neige.



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



Snow height simulation with snow transport
2018-04-15T06:00
250mx250m
SURFEX Crocus+SAFRAN+Snowpappus
2023 CEN
Ange Haddjeri



Simulation de hauteur de neige avec transport de neige sur le Massif des Grandes Rousses

Modeling of alpine blowing snow and evaluation of the induced spatial variability

PHD defense Ange Haddjeri, CNRS, CNRM, Centre d'étude de la neige



Monday April 22, 14h30

Room Écrin de l'INRAE

2 Rue de la Papeterie, 38402 Saint-Martin-d'Hères

Live feed: [https://meteo.webex.com/meteo-fr\[...\]393](https://meteo.webex.com/meteo-fr[...]393)

Jury members :

M. Juan Ignacio LÓPEZ MORENO IPE/CSIC (rapporteur)

M. Ulrich STRASSER de l'Université d'Innsbruck (rapporteur)

M. Patrick WAGNON IRD - IGE (examineur)

M. Simon GASCOIN CNRS-CESBIO (examineur)

Mme Marie DUMONT Météo-France/CEN (directrice de thèse)

M. Matthieu LAFAYSSÉ Météo-France/CEN (directeur de thèse)

Abstract in english :

Alpine snow cover is highly variable both spatially and temporally. An accurate knowledge of this variability is a high stake for water supply, hydropower production, and hazard forecasting such as avalanches and floods. Snowpack observation and numerical simulation are complementary tools for these applications. In France, the ISBA-Crocus snow model is operated on a daily basis but currently only provides a large-scale assessment of the snow conditions. The future evolution of this system will rely on a 250 m horizontal resolution to better describe the spatial variability of the snow cover. This resolution requires the representation of additional processes such as lateral wind redistribution for realistic simulations at high elevations. As with similar snow modeling systems in other countries, the evaluation of these spatialized regional simulations is still challenging due to the sparsity of observations and various interacting uncertainties and processes contributing to spatial variability at this scale. In this context, the objective of this PhD is to develop and evaluate a spatialized alpine snow simulation system with wind lateral redistribution. Emphasis will be placed on the evaluation methods required to evaluate snow regional simulations with satellite observations, which should also benefit similar snow simulation systems in mountain environments. In the first part, we present the design and development of the SnowPappus blowing snow model, coupled with the ISBA-Crocus simulation system over 2-dimensional simulation domains with targeted applications covering large spatial and temporal extents (all French mountain ranges and several years). The SnowPappus model simulates blowing snow occurrence, horizontal transport flux, and sublimation rate as a function of 2D atmospheric forcing and snow surface parameters. Erosion and accumulation are then obtained from an upwind scheme of mass balance. Point-scale evaluations of snow occurrence detection and blowing snow fluxes showed that SnowPappus performs as well as the larger-scale SYTRON scheme while adding access to spatialized information. Then, we evaluate spatialized simulations of the SnowPappus model over a 902 km² region in the French Alps with satellite images during three snow seasons. We compared snow cover simulations to the spatial distribution of snow height obtained from Pleiades satellites stereo-imagery and to Snow Melt-Out Dates derived from Sentinel-2 optical images. The sensitivity of simulations to three different precipitation datasets and two horizontal resolutions is also analyzed. Our results show that the SnowPappus model enhances the snow cover spatial variability at high elevations and near peaks and ridges. Our study shows the necessity to consider error contributions from precipitation forcing and the unresolved subgrid variability for robust evaluations of spatialized snow simulations. Finally, we tested and adapted Fuzzy verification methods, developed for atmospheric simulation evaluations to snow use cases. This kind of verification method is more challenging than spatial distribution analysis and helps to assess the spatial agreements between observations and simulations. Although fuzzy verification techniques can help to better qualify the spatial agreement between simulations and observations, they have limitations over complex topography and do not allow for disentangling error from true localization errors with intensity error compensation. Which is a strong limitation for real use cases of alpine snow forecast verification. The methodological advances of this work help to identify the strengths and weaknesses of high-resolution snow simulations, including the added value of an explicit representation of blowing snow. This is an important step in guiding the use of such simulations in all target applications among winter mountain stakeholders.



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

