



CNRM, UMR 3589

## SOUTENANCE DE THESE CNRM

*vendredi 11 décembre 2020 à 15h*

### ***Assimilation of space-borne snowpack shortwave reflectances and in-situ snow depths into spatialised ensemble simulations of the seasonal snow cover***

**Bertrand CLUZET**

**(CNRM/CEN)**

**en visioconférence**

**Lien BJ :** <https://bluejeans.com/157020879>

soutenance en ANGLAIS

Résumé en anglais:

Understanding mountain snowpack variability is key to anticipate avalanche hazards and monitor water resources. On the one hand, remotely-sensed and in-situ observations of snow have a limited spatial and temporal coverage. For instance, visible and near infrared satellite reflectances provide useful information on snowpack surface properties, but are affected by important gaps of coverage e.g. due to clouds. Likewise, in-situ observations of the height of snow (HS) are reliable but with a limited representativeness and spatial coverage. On the other hand, detailed snowpack models can simulate the complete snow stratigraphy virtually anywhere, but they suffer from large errors in their meteorological inputs and their representation of snow physical processes. Thus, data assimilation offers an unique opportunity to merge information from observations and models into a better estimate of the snowpack state. The aim of this thesis is to investigate the potential for satellite reflectances and in-situ HS to improve snowpack simulations in mountainous areas via assimilation. In this work, we will try to address the following questions:

- Can we use observations of snowpack reflectance from satellites to better constrain snowpack modelling over mountainous areas?
- Can we propagate information on the snowpack state from observed areas to unobserved areas with data assimilation?
- To what extent can we use in-situ observations of HS to improve snowpack simulations in their neighborhood ?

We opt for a sequential ensemble data assimilation strategy, using the Particle Filter algorithm (PF), which is well adapted to detailed snowpack models. An ensemble modelling system is built by forcing ESCROC, a multiphysics ensemble of snowpack models, with an ensemble of stochastic perturbations on SAFRAN meteorological analyses. This design enables the modelling system to account for its main sources of uncertainty. Several innovative versions of the PF are developed in order to assimilate large numbers of observations and propagate information to unobserved areas while avoiding PF degeneracy, an issue arising

**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**

when the number of observations increases. The potential for assimilation of satellite reflectance is assessed by comparing MODIS observations with simulation outputs. We conduct twin experiments assimilating partial observations to analyse the ability of the PF to propagate information into unobserved areas. Finally, we assess the added value of the assimilation of HS observations from an observation network over the Alps and Pyrenees using a Leave-One-Out approach. Results show that the proposed methodology is efficient to tackle PF degeneracy while managing to propagate information across topographic conditions. Though standard MODIS observations cannot be directly assimilated because they are biased, the assimilation of HS observations have some added value where modelling errors are systematic and larger than natural variability. This work opens the way to the assimilation of other satellite products and in-situ HS observations in a spatialised context, a significant qualitative leap for avalanche forecasting and hydrological studies.

#### Résumé en Français:

"Assimilation de réflectances optiques satellitaires et de hauteurs de neige in-situ dans des simulations d'ensemble spatialisées du manteau neigeux saisonnier"

La connaissance de la variabilité du manteau neigeux est indispensable pour la prévision du risque d'avalanche ainsi que pour le suivi de la ressource en eau. D'une part, la couverture spatio-temporelle des observations in-situ et télédéteectées de la neige est limitée. Les réflectances satellites dans le visible et le proche infra-rouge fournissent de précieuses informations sur les propriétés de surface du manteau neigeux mais ont une couverture parcellaire, notamment à cause des nuages. De la même manière, les observations in-situ de hauteur de neige (HN) ont une représentativité et une couverture spatiale limitées. D'autre part, les modèles détaillés du manteau neigeux offrent la possibilité de simuler la stratigraphie complète du manteau neigeux en tout point. Cependant ceux-ci souffrent d'importantes erreurs provenant de leurs forçages météorologiques ainsi que de leur propre représentation de la physique de la neige. Dans ce contexte, l'assimilation de données, qui permet d'intégrer l'information provenant des observations dans les simulations de ces modèles, semble prometteuse. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la capacité de l'assimilation de réflectances satellites et d'observations in-situ de HN à améliorer la simulation du manteau neigeux en montagne. Les problématiques suivantes seront donc abordées :

- Les observations de réflectances satellites de la neige permettent-elles de mieux contraindre la modélisation du manteau neigeux en montagne ?
- Peut-on propager de l'information sur l'état du manteau neigeux depuis des zones observées vers des zones non-observées ?
- Dans quelle mesure peut-on utiliser les observations in-situ de HN pour améliorer les simulations du manteau neigeux dans leur voisinage ?

Nous avons choisi d'utiliser une approche d'assimilation de données ensembliste séquentielle, utilisant le Filtre Particulaire (FP) qui est adapté aux modèles détaillés du manteau neigeux. Le système de modélisation d'ensemble est basé sur ESCROC, un ensemble de modèles multi-physiques du manteau neigeux, forcé par un ensemble de perturbations stochastiques des analyses météorologiques SAFRAN. Cette conception permet à la chaîne de modélisation de tenir compte de ses principales sources d'incertitude. Plusieurs versions innovantes du FP ont été développées afin d'assimiler un grand nombre d'observations simultanément, tout

**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**

en évitant la dégénérescence du FP, un problème apparaissant lorsque le nombre d'observations augmente. Le potentiel de l'assimilation de réflectances satellites a été estimé en comparant des observations du capteur satellite MODIS avec des sorties de simulations.

Des expériences jumelles assimilant des observations partielles nous ont permis d'analyser la capacité du FP à propager de l'information vers des zones non-observées. Enfin, nous avons évalué l'apport de l'assimilation d'un réseau d'observations de HN couvrant les Alpes et les Pyrénées par une approche de validation croisée de type "un contre tous". Nos résultats montrent que l'approche proposée permet d'éviter la dégénérescence du FP tout en réussissant à propager de l'information entre différentes conditions topographiques. Un biais a été mis en évidence dans les observations standard MODIS, qui empêche leur assimilation directe. En revanche, nous avons mis en valeur le bénéfice de l'assimilation de HN dans les zones où les erreurs de modélisation sont systématiques et dépassent la variabilité naturelle. Ce travail ouvre la voie à l'assimilation d'autres produits satellitaire ainsi que d'observations in-situ de HS dans un contexte spatialisé, représentant un saut qualitatif important pour la prévision du risque d'avalanche et l'hydrologie de montagne.

Jury:

M. Tobias Jonas, WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Rapporteur

M. Michael Durand, Ohio State University, Rapporteur

Marie-Amélie Boucher, Université de Sherbrooke, Examinatrice

M. Gilles Boulet, CESBIO, Examineur

M. Emmanuel Cosme, IGE, Examineur

M. Vincent Vionnet, Center for Hydrology (University of Saskatchewan),  
Examineur

Mme Marie Dumont, Centre d'Études de la Neige, Directrice de thèse

M. Matthieu Lafaysse, Centre d'Études de la Neige, Co-directeur de thèse