

Soutenance de thèse de doctorat,
le jeudi 5 janvier à 14h
dans la salle Liboutry de l'IGE,
54 rue molière, BP96 38402,
sur le campus universitaire de St Martin d'Hères

Assimilation de réflectances satellitaires du domaine visible et proche infrarouge dans un modèle détaillé de manteau neigeux

Présenté par Luc Charrois
Université Grenoble Alpes, IGE, Grenoble
Météo France - CNRS, CNRM CEN, Grenoble

et dirigée par Emmanuel Cosme et Marie Dumont.

Composition du jury :

Pr. Catherine OTTLE

Directrice de recherche, CNRS, LCSE, Gif-sur-Yvette, Rapporteur

Pr. Richard ESSERY

Professeur, University of Edinburgh, Edinburgh, Rapporteur

Pr. Michel FILY

Professeur, Université Grenoble Alpes, IGE, Grenoble, Examineur

Pr. Marc BOCQUET

Professeur, Ecole des Ponts ParisTech, CEREA, Marne la Vallée, Examineur

Dr. Emmanuel COSME

Maître de conférences, Université Grenoble Alpes, IGE, Grenoble, Directeur de thèse

Dr. Marie DUMONT

IPEF, Météo France - CNRS, CNRM CEN, Grenoble, Co-Directrice de thèse



Résumé :

Une modélisation précise du manteau neigeux saisonnier est indispensable pour comprendre son évolution et améliorer la prévention d risque d'avalanche. Le Centre d'Études de la Neige (CEN) développe depuis plus de 20 ans un modèle de manteau neigeux nommé Crocus dédié à simuler son évolution et ses propriétés physiques uniquement à partir de variables météorologiques de surface. Les erreurs du modèle et l'imprécision des forçages météorologiques sont des sources inévitables d'incertitudes dans les prévisions de Crocus. Contraindre le modèle avec des observations peut être un moyen de minimiser l'impact de ces incertitudes dans les simulations. En raison de la faible densité des réseaux de mesures in situ et de la forte variabilité spatiale du manteau neigeux, il est vraisemblable que seule l'imagerie satellitaire puisse permettre une contrainte efficace du modèle. Le spectroradiomètre MODIS, fournissant quotidiennement des informations sur la surface terrestre à une résolution de 250 m, est bien adapté pour l'observation du couvert nival. Ce capteur opère dans les domaines du visible et de l'infrarouge où les réflectances mesurées (rapport du flux solaire réfléchi sur incident selon les longueurs d'onde) sont sensibles à certaines propriétés du manteau neigeux. Le nouveau schéma radiatif TARTES de Crocus est en mesure de simuler l'évolution de ces réflectances, ce qui ouvre la voie à l'assimilation des réflectances MODIS.

L'objectif de la thèse est d'explorer l'assimilation des réflectances MODIS dans le modèle de manteau neigeux Crocus, dans une perspective opérationnelle à moyen terme. Ce projet s'appuie fortement sur l'expertise en modélisation physique et radiative du manteau neigeux et en assimilation de données présente au Centre d'Études de la Neige et à l'Institut des Géosciences de l'Environnement à Grenoble.

Le projet s'est déroulé en deux étapes pour répondre aux questions suivantes :

- Les réflectances optiques satellitaires possèdent-elles un contenu informatif capable de contraindre efficacement le modèle Crocus ?
- Quels sont les obstacles à surmonter pour parvenir à l'assimilation effective des réflectances optiques mesurées par satellites ?

Un filtre particulière est utilisé comme méthode d'assimilation pour évaluer l'apport des réflectances sur les estimations du manteau neigeux en termes de hauteur de neige et son équivalent en eau liquide. Le choix de ce filtre, permis par la petite dimension du problème, est conforté par sa facilité d'implémentation au vu des contraintes fortes du modèle Crocus. Les expériences conduites dans cette étude sont réalisées au niveau du Col du Lautaret et du Col de Porte (Alpes françaises).

Des expériences d'assimilation d'observations virtuelles démontrent le potentiel des réflectances spectrales pour guider Crocus dans ses estimations du manteau neigeux. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) des variables intégrées de la hauteur de neige et de son équivalent en eau est réduite de près de moitié par l'assimilation des observations. L'efficacité de l'assimilation est cependant fortement dépendante de la distribution temporelle des observations.

Des expériences d'assimilation de réflectances réelles mettent en évidence une grande sensibilité des résultats de l'assimilation à la qualité des observations. La conversion et le traitement des données MODIS au sommet de l'atmosphère (TOA) en réflectances de surface sont la cause de fortes incertitudes dans ces données. Les biais occasionnés et une mauvaise caractérisation de ces erreurs détériorent les estimations du manteau neigeux. Le contrôle qualité et la sélection des données satellitaires sont à ce titre une priorité dans la perspective d'assimilation des données satellitaires.

Ce travail démontre ainsi le potentiel des données spatiales pour le suivi et la prévision du manteau neigeux, potentiel qu'il conviendra d'exploiter dans un futur proche.

Mots-clés : manteau neigeux, modélisation, assimilation de données, télédétection, réflectances optiques

Abstract :

An accurate seasonal snowpack modeling is needed to study its evolution and to improve the avalanche hazard forecast. For 20 years, the snow study center (CEN) has developed a snowpack model named Crocus to simulate the snow cover and its physical properties driven by near-surface meteorological conditions. Model and meteorological forcing errors are the main uncertainties in the Crocus forecasts. Constraining the model with observations can minimize the impacts of these uncertainties on simulations. Because of the low density of ground-based measurement networks combined to the high spatial variability of the snow cover, satellite observations should be the best way to constrain the model. The MODIS spectroradiometer which provides daily surface information at 250 m spatial resolution is appropriated to study the snow cover. The visible and near-infrared reflectances (defined as the fraction of incident solar flux that is reflected by the surface) measured by MODIS are strongly sensitive to physical properties of the snowpack. The radiative transfer model TARTES, recently implemented into Crocus, calculates the same spectral reflectances and so, opens routes to data assimilation of MODIS reflectances.

The aim of this thesis is to investigate the assimilation of the MODIS reflectances into the snowpack model Crocus in an operational perspective. This work benefits from the expertise in physical and radiative snowpack modeling as well as data assimilation from two laboratories of Grenoble, the snow study center and the Institute of Environmental Geosciences.

The project took place in two steps to answer the following questions :

- Do MODIS reflectances offer an informative content allowing an efficient constraint of the Crocus snowpack model?
- What are the challenges associated to the assimilation of remotely-based optical reflectances?

A particle filter is used as data assimilation scheme to evaluate the ability of optical reflectance data assimilation to improve snow depth and snow water equivalent simulations. The choice of this filter, allowed by the small size of the problem, is based on its ease of implementation regarding the severe constraints of the Crocus model. The experiments were conducted at the Col du Lautaret and the Col de Porte in the French Alps.

The assimilation of synthetic observations demonstrates the potential of spectral reflectances to constraint the Crocus snowpack model simulations. The root-mean square errors (RMSE) of bulk variables like snow depth and snow water equivalent are reduced by a factor of roughly 2 after assimilation. However, the performance of assimilation is highly dependent on the temporal distribution of the observations.

The assimilation of real reflectances shows a high sensitivity to the quality of the assimilated observations. Converting MODIS top of atmosphere reflectances into surface reflectances introduces uncertainties in these data. Resulting biases and a poor characterization of errors deteriorate the estimation of the snowpack. Screening methods prior assimilation are therefore a priority in the prospect of satellite data assimilation.

This work demonstrates the potential of remotely-based data assimilation to monitor and forecast the snow cover, potential which should be used in the near future.

Key-words: snowpack, modeling, data assimilation, remote-sensing, optical reflectances

