

Assimilation de données de hauteur de neige, d'équivalent en eau et de température de brillance micro-ondes dans SURFEX/ISBA-Crocus

R. Essery¹, S. Morin², G. Picard³, M. Dumont²,
F. Karbou², M. Lafaysse², J. Lemmetyinen⁴

Université Edimbourg, R.-U.

Météo-France – CNRS, CNRM-GAME, CEN, Grenoble, France

CNRS – UJF Grenoble, LGGE, Grenoble, France

FMI, Helsinki, Finlande.

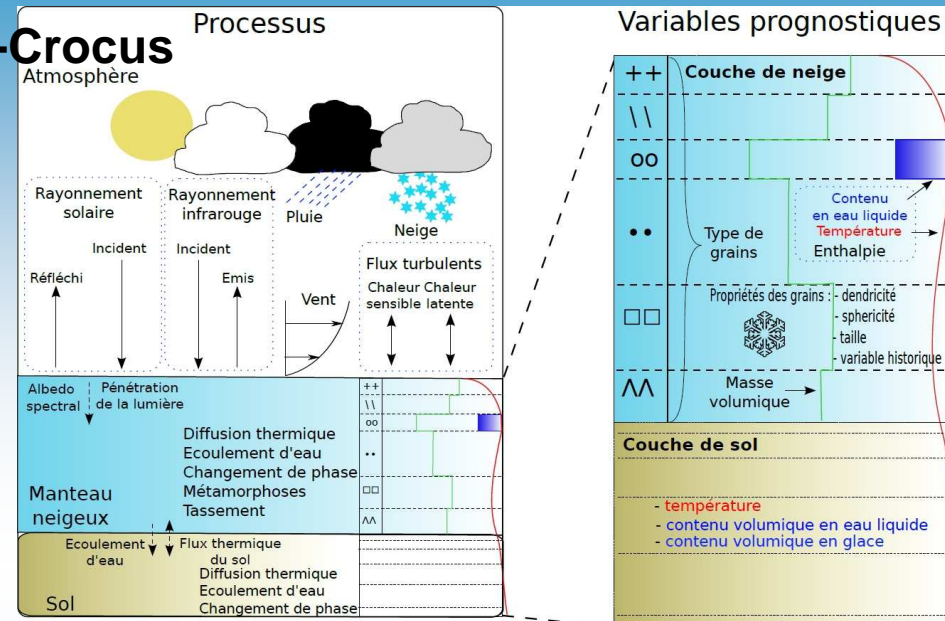
Contexte, enjeux, approches

- De nombreuses applications opérationnelles et recherche dépendent de la qualité de l'information sur la **présence de neige au sol** (présence/absence et quantité).
- La **prévision et l'analyse de précipitation** demeurent un enjeu fort des modèles météorologiques et des réanalyses utilisées pour alimenter les modèles de surface, en particulier concernant le manteau neigeux.
- L'assimilation de données sur le manteau neigeux est encore **peu fréquente** malgré un grand nombre d'observations potentiellement assimilables (réseaux de mesures au sol, observations satellites etc.).
- Les **données ponctuelles de hauteur de neige** sont souvent exclues des approches utilisées en hydrologie au motif que leur lien avec l'équivalent en eau (critique) est indirect.
- Utilisation croissante des schémas multi-couches disponibles dans SURFEX/ISBA et développés au CNRM-GAME (**ES et Crocus**)

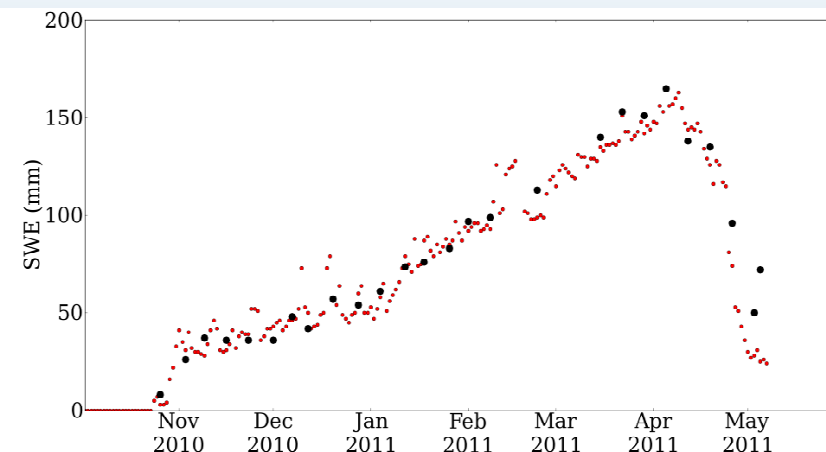
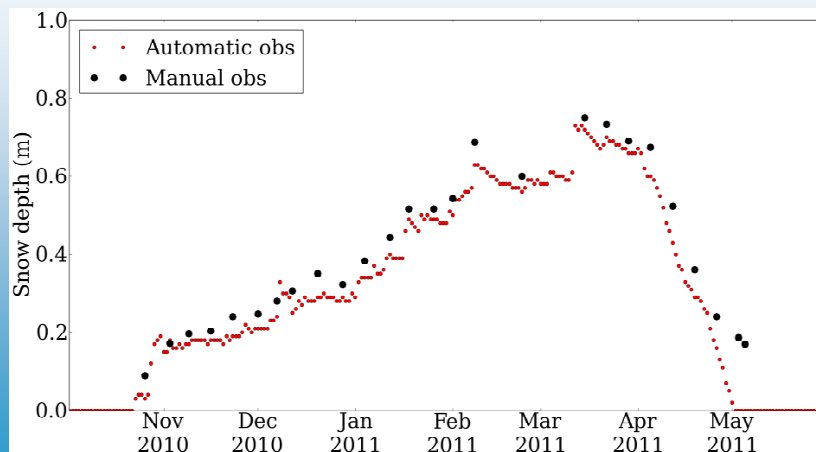
Modèle SURFEX/ISBA-Crocus

Données de terrain

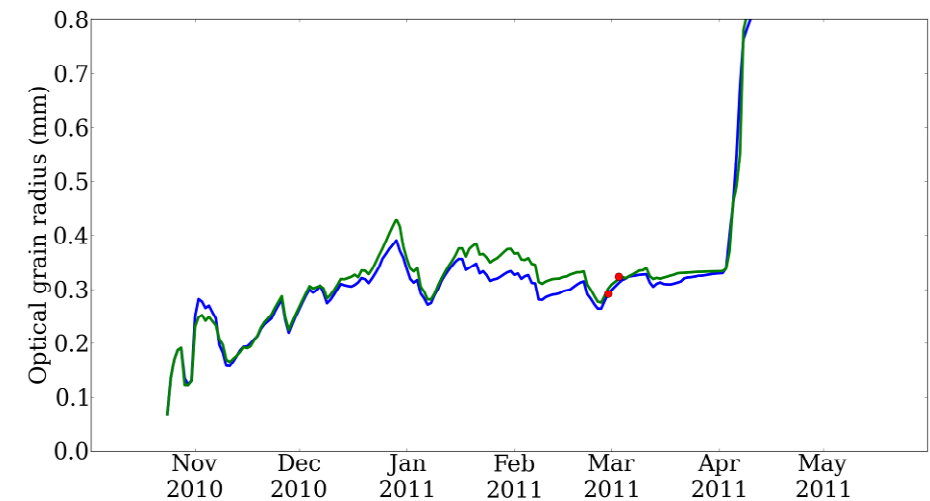
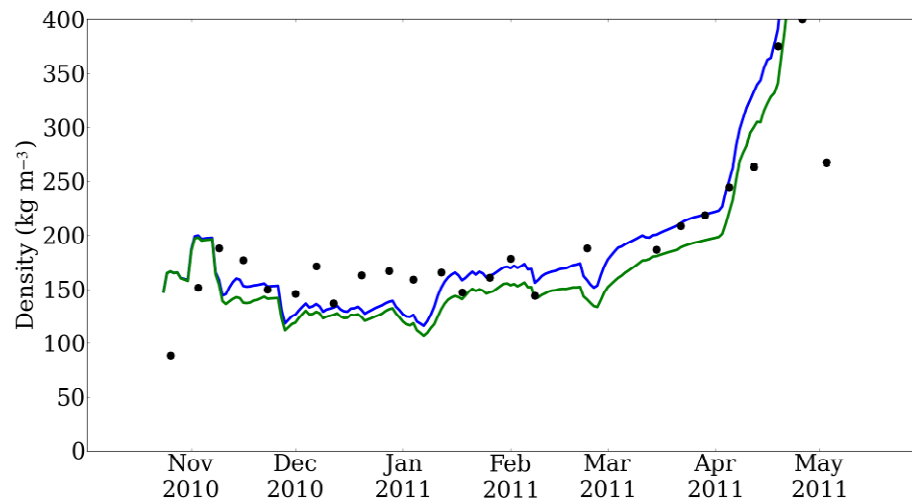
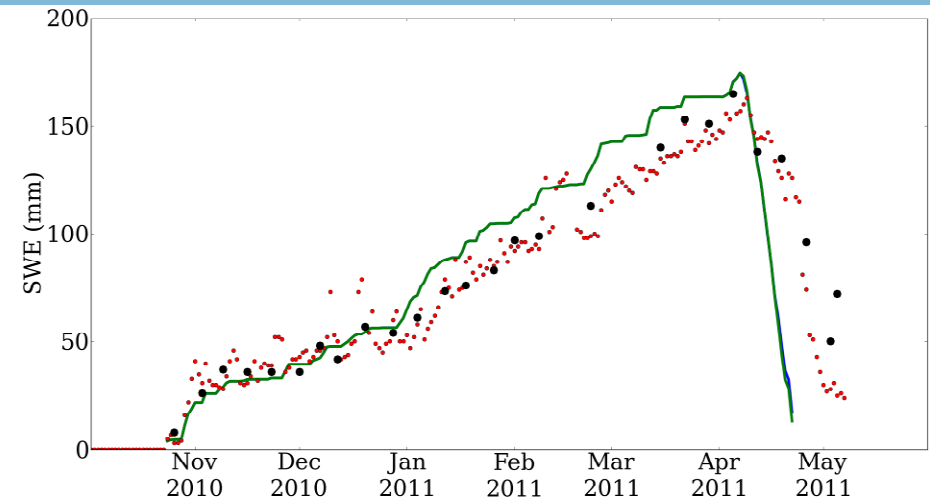
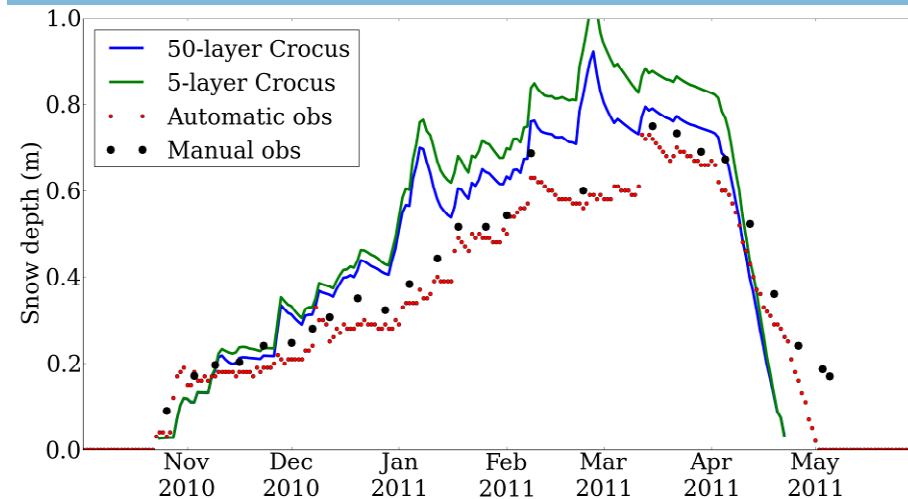
Sodankylä, Finlande



Brun et al., 1992 ;
Vionnet et al., 2012

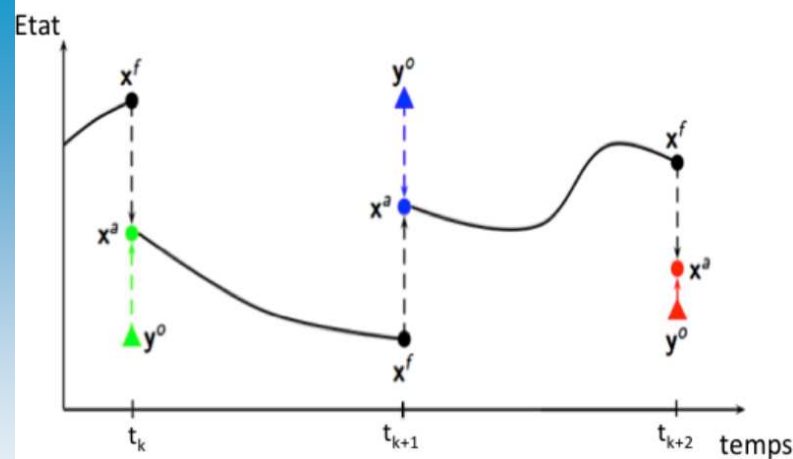


Simulations Crocus alimentées par des réanalyses (ERA-Interim)



Surestimation hauteur et SWE, masse volumique totale OK, taille des grains OK (peu d'observation)

Assimilation de données



Filtre de Kalman simplifié étendu (SEKF)

Modèle $\mathbf{x}_k, \mathbf{B}_k, \mathbf{Q}_k$ Observations \mathbf{y}_k, \mathbf{R}

Calcul du linéaire tangent du modèle et de l'opérateur d'observation variable par variable (filtre simplifié, approche d'Ensemble)

$$\mathbf{F} = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \quad \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}}$$

Calcul du gain (\mathbf{K}), analyse

$$\mathbf{x}_a = \mathbf{x}_b + \mathbf{K}[\mathbf{y}_o - \mathbf{h}(\mathbf{x}_b)]$$

$$\mathbf{B}_a = (\mathbf{I} - \mathbf{K}\mathbf{H})\mathbf{B}$$

Prévision

$$\mathbf{B}_{k+1} = \mathbf{F}\mathbf{B}_k\mathbf{F}^T + \mathbf{Q}$$

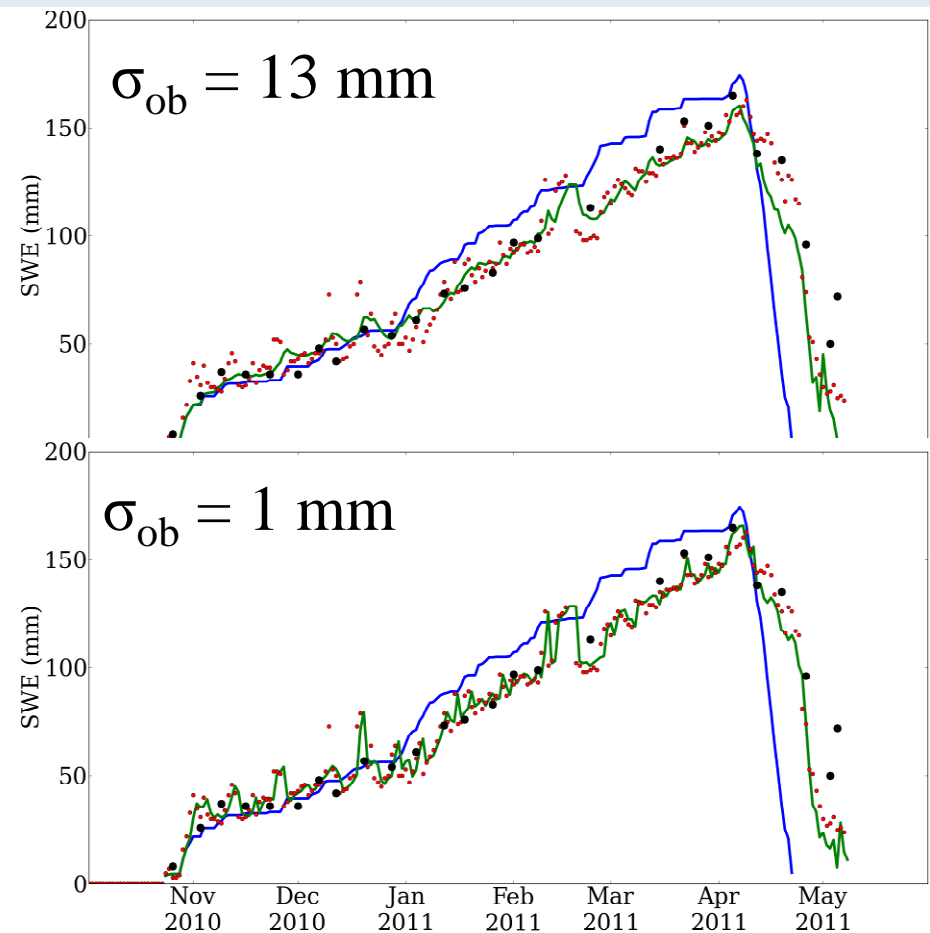
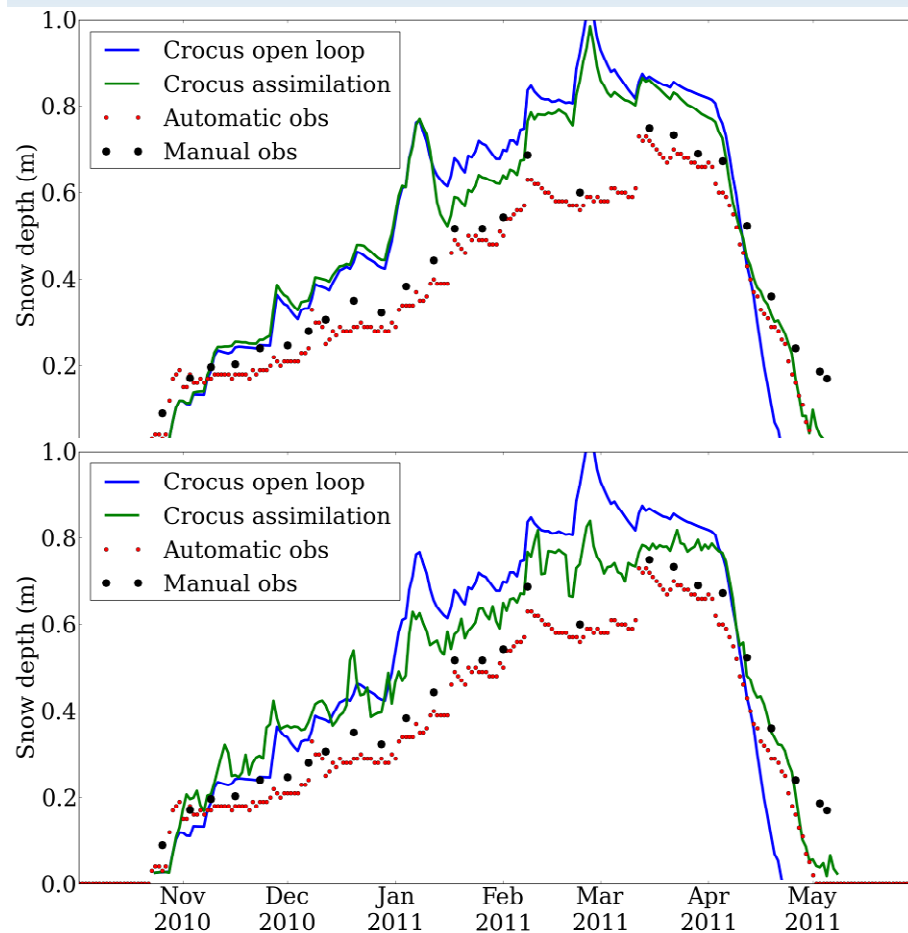
$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_a)$$

Assimilation de données d'équivalent en eau (SWE)

Variable de contrôle $\mathbf{x} = (s_k, \rho_k)^T$

Observations $y = SWE$

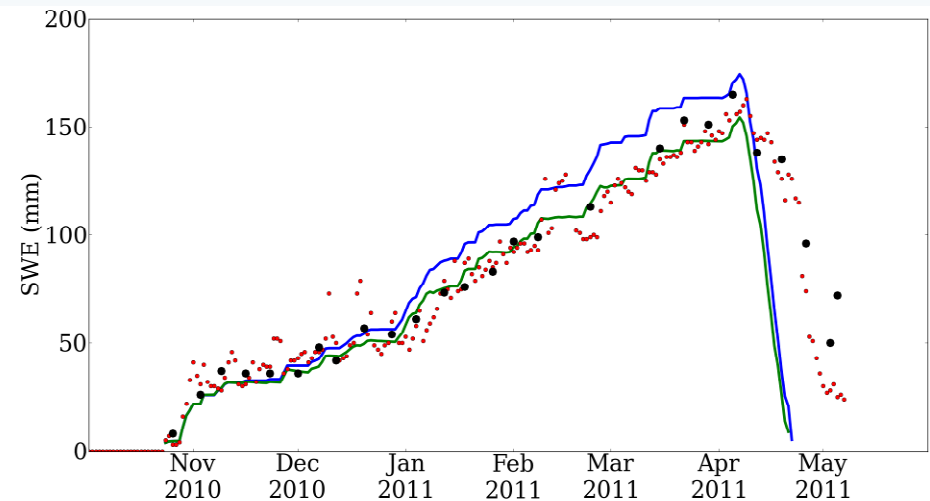
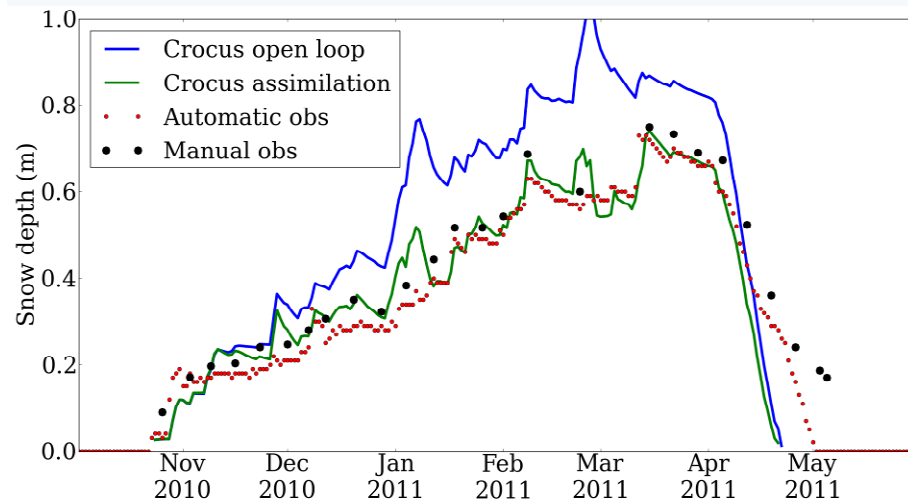
Opérateur d'observation $\mathbf{H} = (1, \dots, 1, 0, \dots, 0)$



Assimilation de données de hauteur de neige

Variable de contrôle $\mathbf{x} = (s_k, \rho_k)^T$ Observations $y = d_s$

Opérateur d'observation $\mathbf{H} = (\rho_k^{-1}, -\rho_k^{-2} s_k)$

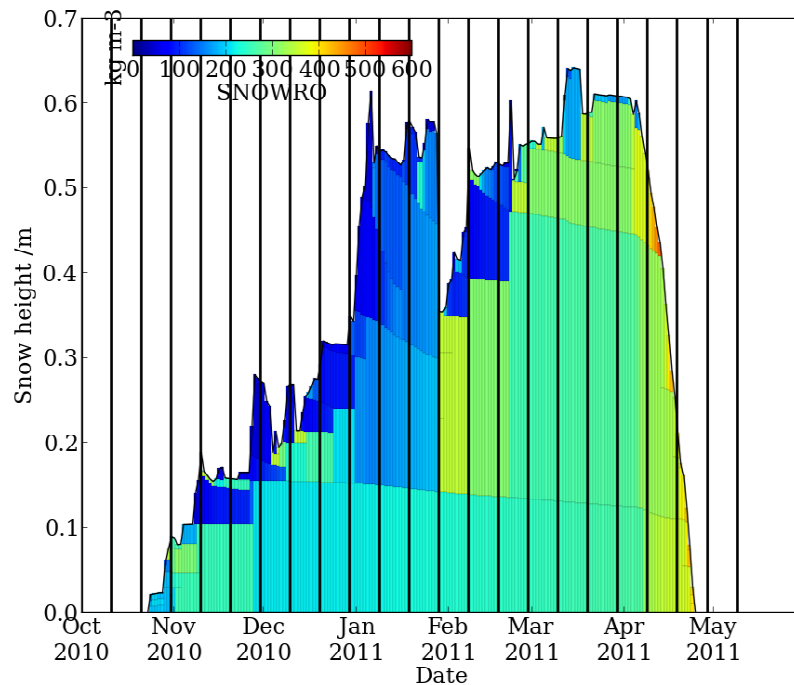


Amélioration simultanée de la hauteur de neige ET du SWE.

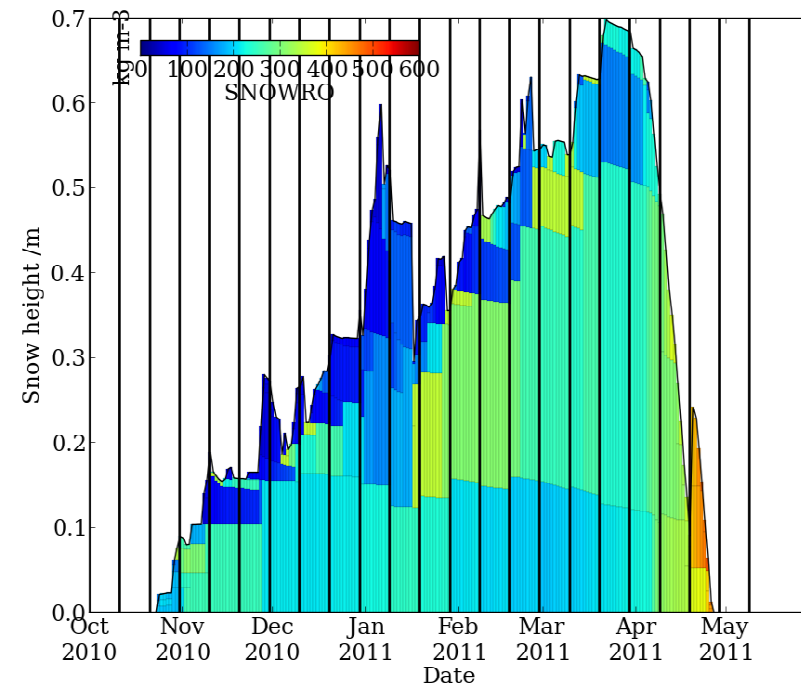
Impact sur les variables internes de Crocus

Exemple : évolution du profil de masse volumique (5 couches)

Open-loop



Assimilation



Conclusion intermédiaire

- A condition de disposer d'un modèle de surface décrivant correctement les processus de densification de la neige (tassement, percolation, changements de phase etc.), l'assimilation de données de hauteur de neige possède **un fort potentiel** pour l'amélioration de la représentation de la neige au sol pour les analyses de surface.

Extension à des données micro-ondes

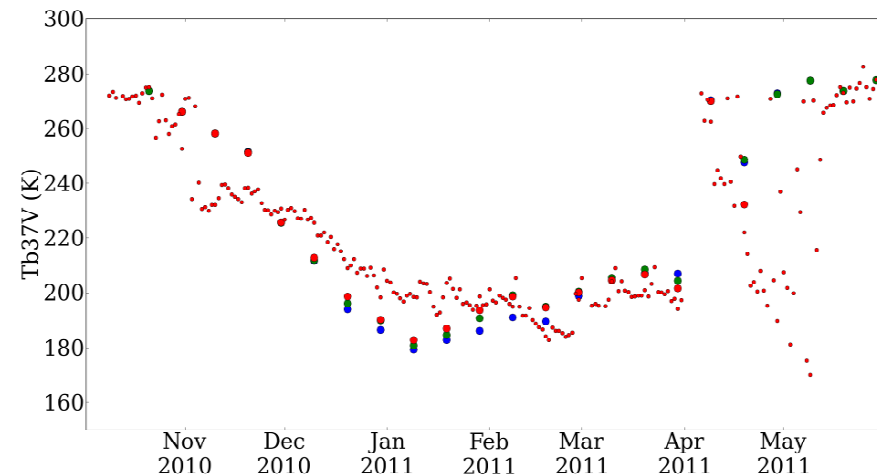
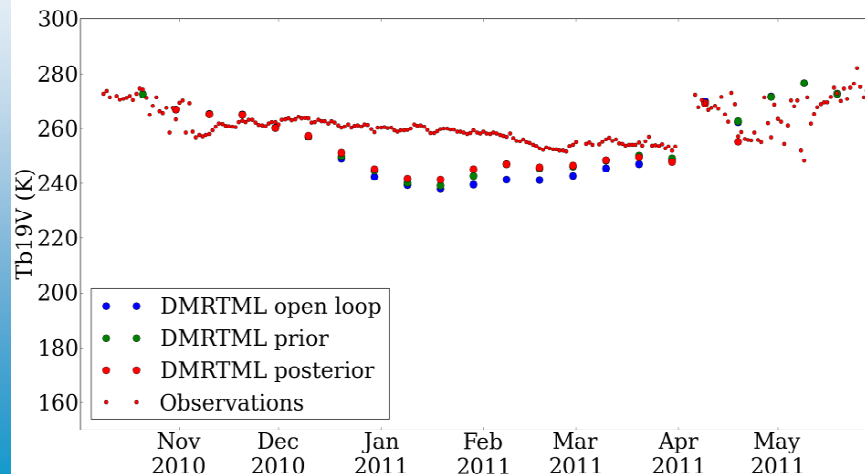
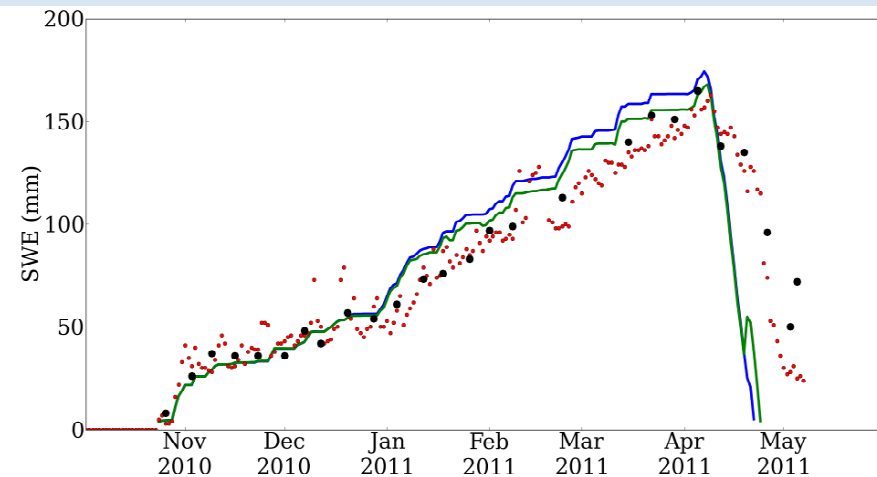
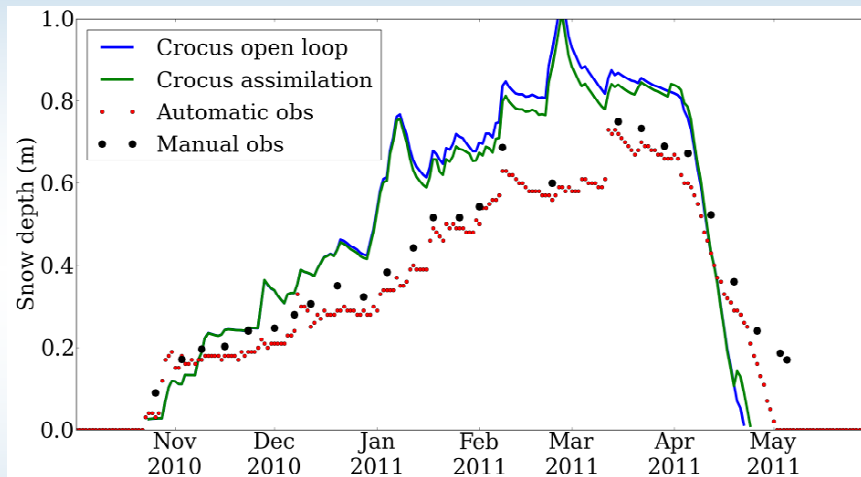
- L'émission micro-onde de la surface est sensible à la présence, la quantité et la qualité de la neige au sol
- Il existe plusieurs modèles directs à base physique pour simuler l'émission micro-onde à partir des sorties d'un modèle de surface, en particulier le modèle DMRT-ML développé au LGGE (Picard et al., GMDD 2012)
- La stratification, la masse volumique et la taille des grains des couches de neige jouent un rôle important pour l'émission micro-ondes : un modèle tel que Crocus est particulièrement adapté à de telles approches.

Extension à des données micro-ondes

Variable de contrôle $\mathbf{x} = (s_k, \rho_k, \dots)^T$

Observations $\mathbf{y} = (Tb_{19V}, Tb_{37V})^T$

Différentiation de l'opérateur d'observation par différences entre runs perturbés de DMRT-ML



Conclusions

- **Fort potentiel** de l'assimilation de données de hauteur de neige dans un modèle détaillé de manteau neigeux ; **intérêt moindre** d'assimilation de données de SWE.
- Perspectives **positives** d'assimilation de températures de brillances micro-ondes (travail nécessaire sur l'opérateur d'observation et le couplage des éléments) ; démarche reposant sur des produits satellites de niveau 1b, pas d'assimilation de produits dérivés.
- Extension possible à **d'autres observations satellites** (visible/proche-IR, thermique ...).
- **Extension possible à l'utilisation d'ISBA-ES** (à court terme, plus d'utilisations opérationnelles et hydrologiques que Crocus).
- Utilisation pour ré-analyse de surface de longues séries d'observation de neige, assimilation de données complémentaires telles que la température du sol (sensible à la présence et la qualité du manteau neigeux).