



La fonte de la neige vue par Sentinel-1

Fatima Karbou

CNRM / CEN, Météo-France & CNRS

Avec des contributions de Guillaume James², Philippe Durand³, Anne Dufour¹, Mathieu Fructus¹, Gaëlle Veyssièr¹⁻⁴, Florence Marti⁵, Cécile Coleou⁶, Isabelle Gouttevin¹

¹CNRM (Météo-France and CNRS), ²LJK-Inria, ³CNES, ⁴British Antarctic Survey, ⁵Magellium, ⁶Météo-France / DirOP/CMN



Travaux avec le soutien du CNES via le projet APR SHARE



Suivi de la neige humide par satellite

- Variabilité, dates et altitudes de retrait de la neige: occupation des sols, écosystèmes montagnards
- Connaissance des zones de neige humide / fonte: anticiper les impacts socio-économiques, risques de crues suite à fonte soudaine
- Connaissance de l'étendue de la neige humide, début de fonte ou de ruissellement: modélisation nivo-métérologique, modélisation hydrologique, du ruissellement, état des réservoirs d'eau
- Identifier les épisodes de fonte (dates, altitudes): mieux calibrer les modèles pour lesquels la neige joue un rôle important (état et l'évolution de l'enneigement)
- Modélisation des avalanches
- Interactions climatiques

Suivi de la neige humide par satellite

Sentinel-1

bande C, 2 satellites, données disponibles depuis octobre 2014, 6 jours de temps de revisite sur la France
Sensibilité à certaines propriétés de la neige

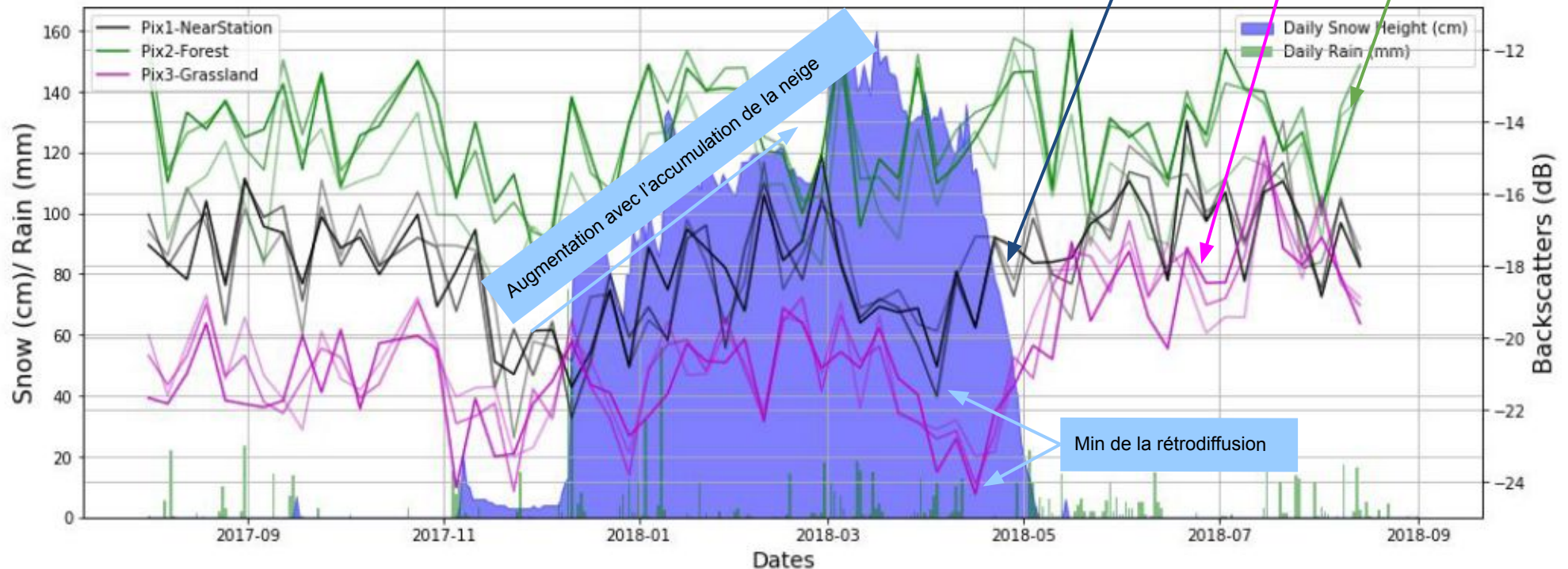
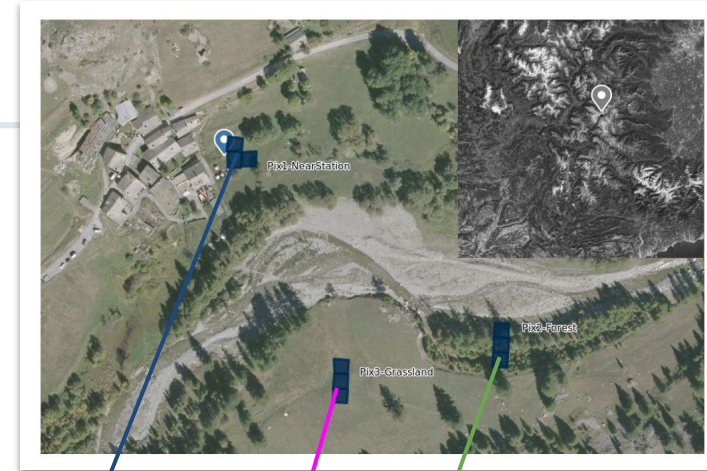


Suivi de la neige humide par satellite

Indications de changements (Marin et al. 2020):

Début de fonte \Rightarrow baisse de la rétrodiffusion orbite du soir d'au moins 2dB

Mûrissement de la neige: si baisse observée à l'orbite du matin \Rightarrow minima local annonçant le ruissellement



Sentinel-1 SAR signal (descending) near the in-situ station Maljasset (1908m)



Suivi de la neige humide par satellite

Produits de neige humide par imagerie SAR:

- Baisse de la rétrodiffusion en cas de neige humide: méthodes de détection du changement entre des images d'hiver et des images sans neige
- Plusieurs algorithmes avec la bande C (Nagler et al. 2016, Baghdadi et al. 1997, Magagi and Bernier 2003, Nagler and Rott 2000, Marin et al. 2019, Tsai et al. 2019, Awasthi and Varade 2021, among many others)
- Une des méthodes les plus connues est celle de Nagler et al. 2016 (seuillage fixe de 2-3 dB sur des ratios d'images SAR, hiver/image de référence)
- Cette méthode est la base des produits issus de Sentinel-1 de Copernicus (operational pan-European High-Resolution Snow & Ice Monitoring service)
- Questions ouvertes: seuil fixe (Baghdadi et al. 2000, Malnes and Guneriusson 2002, Longépé et al. 2009, Rondeau-Genesse et al. 2016), zones de forêts, choix de l'image de référence (Koskinen et al. 1997, Luoju et al. 2007), scores ou métriques d'évaluation des produits, synthèses spatio-temporelle de la neige humide

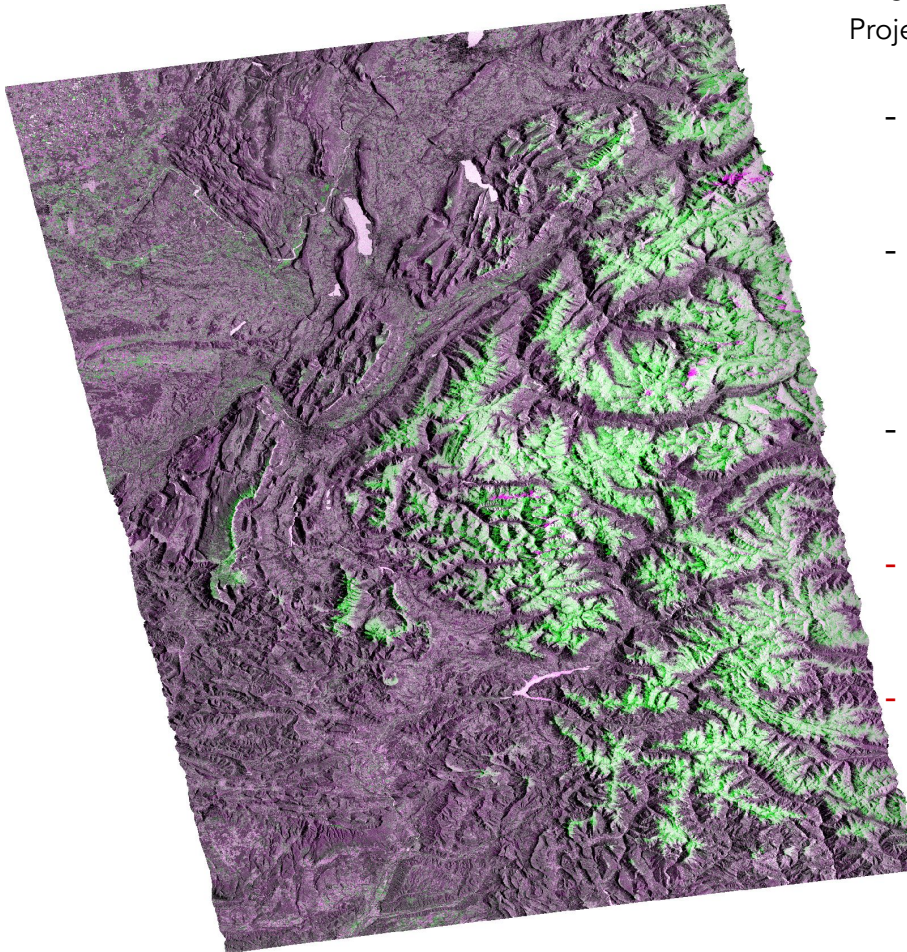
Suivi de la neige humide par satellite

- SAR Sentinel-1 RGB
- (R: 25/08/2017, G: 21/04/2018, B: 25/08/2017)

Travaux à Météo-France:

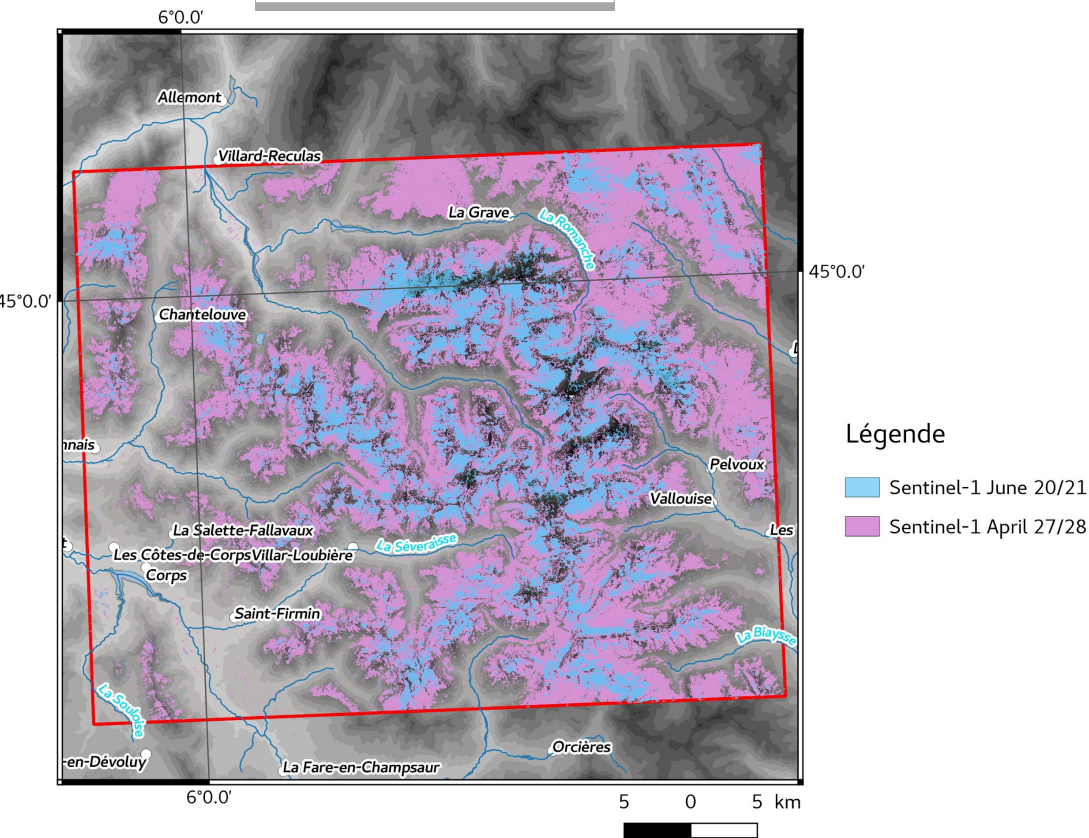
Projets APR SHARE, MIOSOTIS

- Pré-traitement des images Sentinel-1 via la plateforme PEPS du CNES
- Aspects algorithmiques: l'apport de nouvelles méthodes d'analyse d'images pour extraire l'information sur la neige humide et pour fusionner les produits neige (S1, S2, VIIRS)
- Travaux d'assimilation des produits de neige humide dans le modèle de neige Crocus
- Principales caractéristiques de l'enneigement humide pour les End-Users
- Scores ou métriques d'évaluation des produits SAR ou satellites en général et modèles

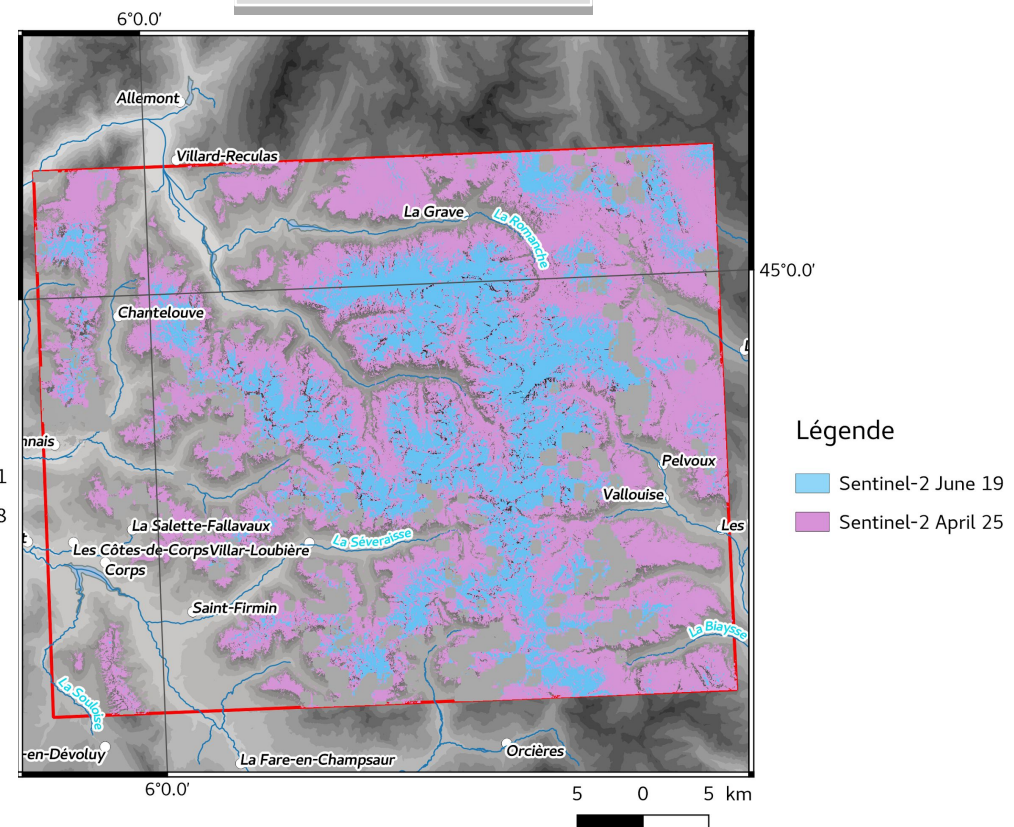


Principales caractéristiques de l'enneigement

Sentinel-1



Sentinel-2



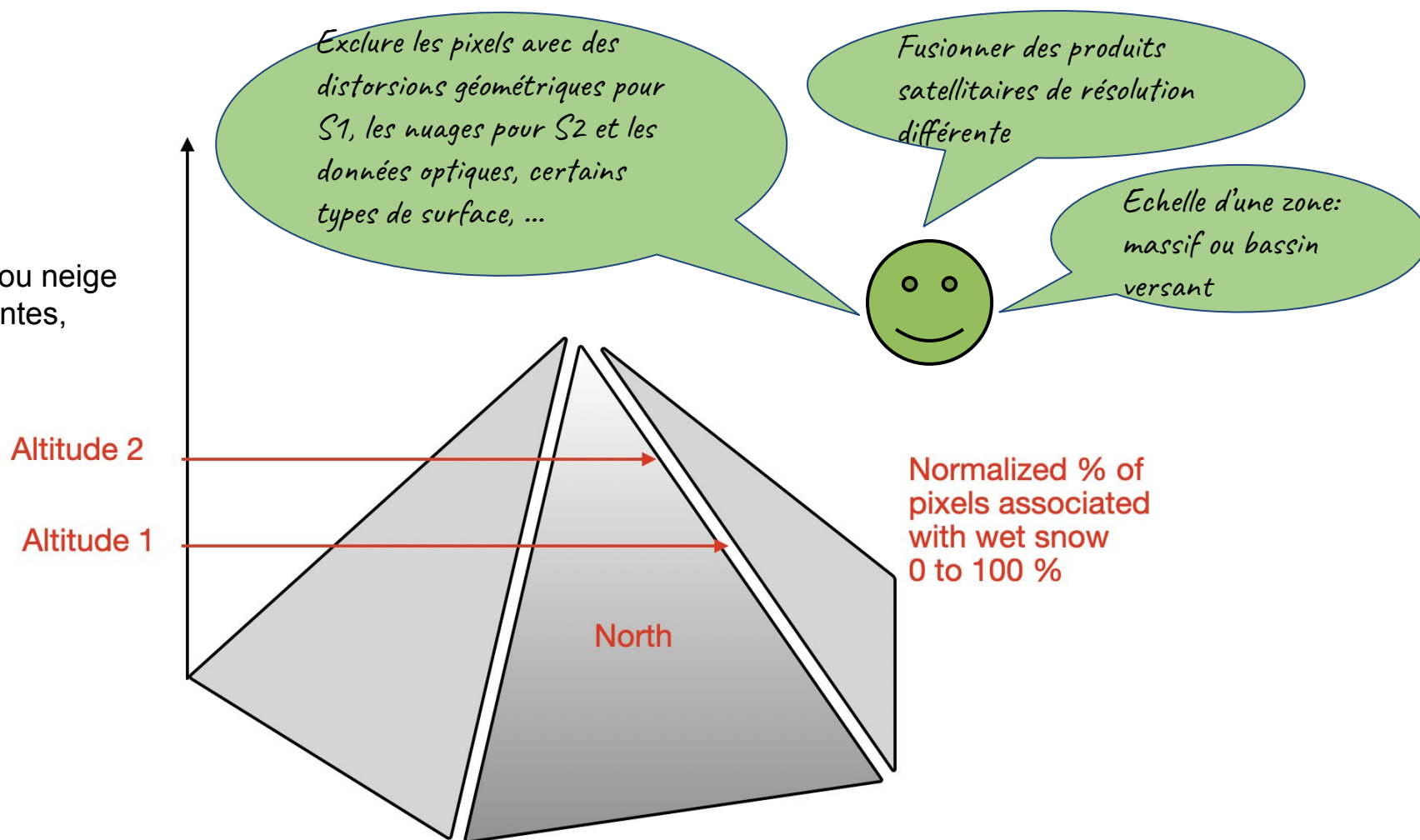
The spatial variability consistent between the two satellite products, smaller extension of wet snow is observed compared to S2. Situations of disagreement: very high elevation areas (dry snow at very high elevations and to glaciers signature), some northern slopes at low elevations (thin snow totally refrozen and transparent to Sentinel-1), forest

Principales caractéristiques de l'enneigement

Comment extraire facilement les caractéristiques pertinentes à partir de cartes binaires ?

Input data:

- Neige humide ou neige
- Terrain (Alt, pentes, orientation)



Principales caractéristiques de l'enneigement

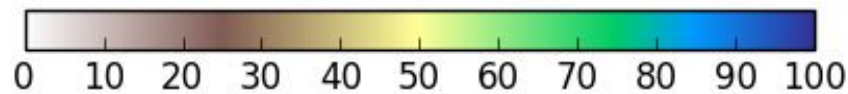
Lignes de fonte

Sentinel-2, 20180425

% of pixels for the **ascending** orbit without geom. distortions

% of pixels for the **descending** orbit without geom. distortions

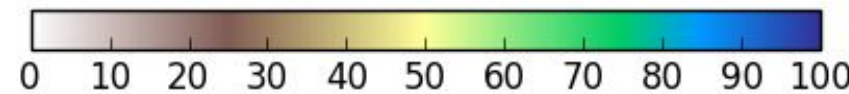
All slopes



Snow (%)

Sentinel-1 (asc/desc), 20180427-20180428

Altitudes (m)



Wet Snow (%)

The normalized percentage of snow-covered pixels by classes of elevation and orientation (0 to 100%) for the massif "Oisans"
Way to mix the two representations to delimit dry snow and wet snow (Karbou et al. 2021)

Principales caractéristiques de l'enneigement

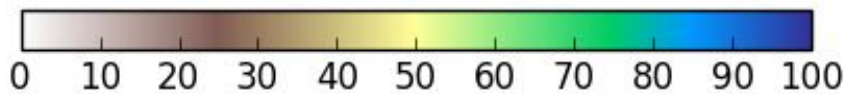
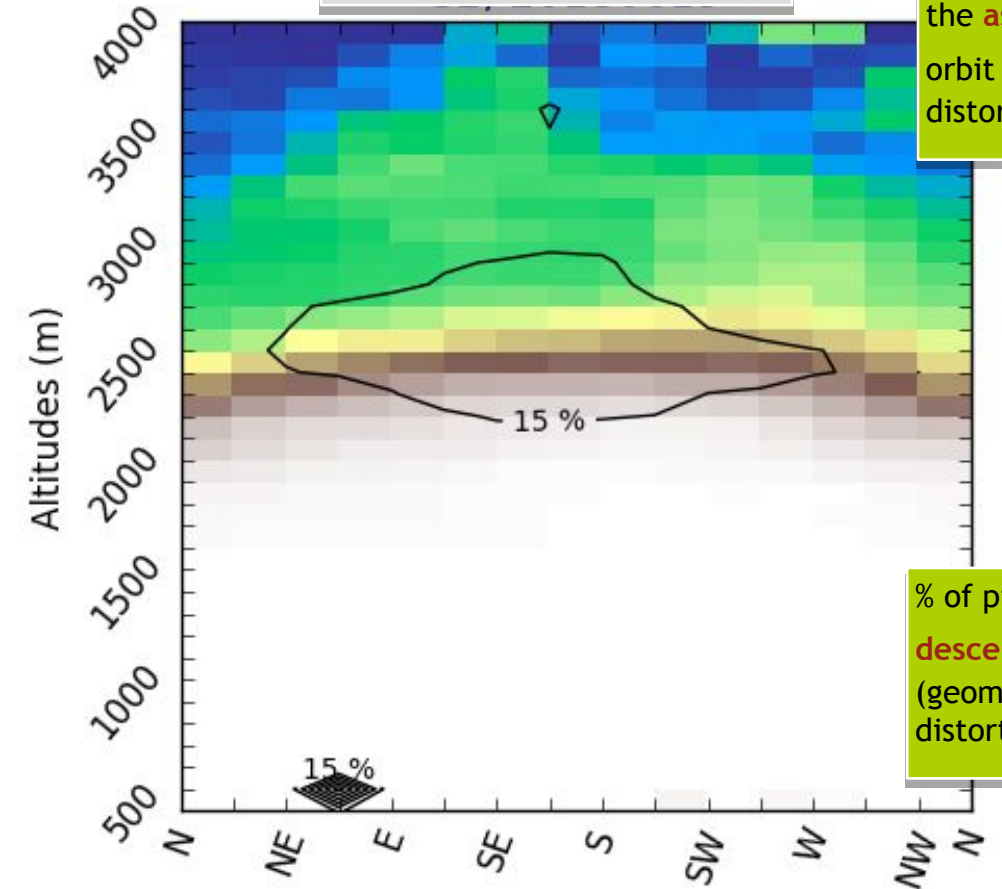
Lignes de fonte

Sentinel-2, 20180619

% of pixels for the **ascending** orbit (geom. distortions)

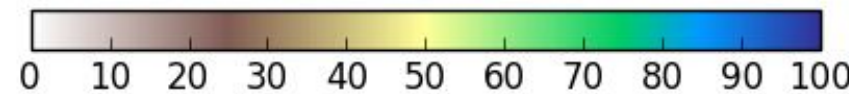
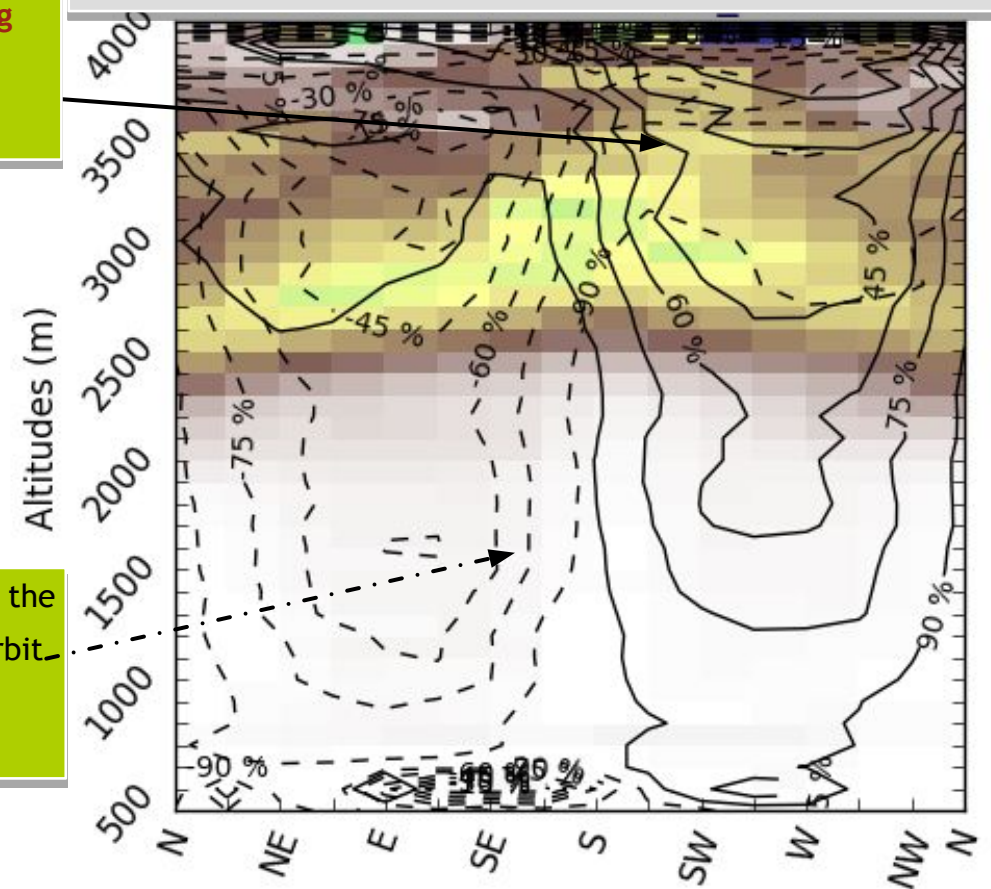
% of pixels for the **descending** orbit (geom. distortions)

Sentinel-1 (asc/desc), 20180620-20180621



Snow (%)

All slopes

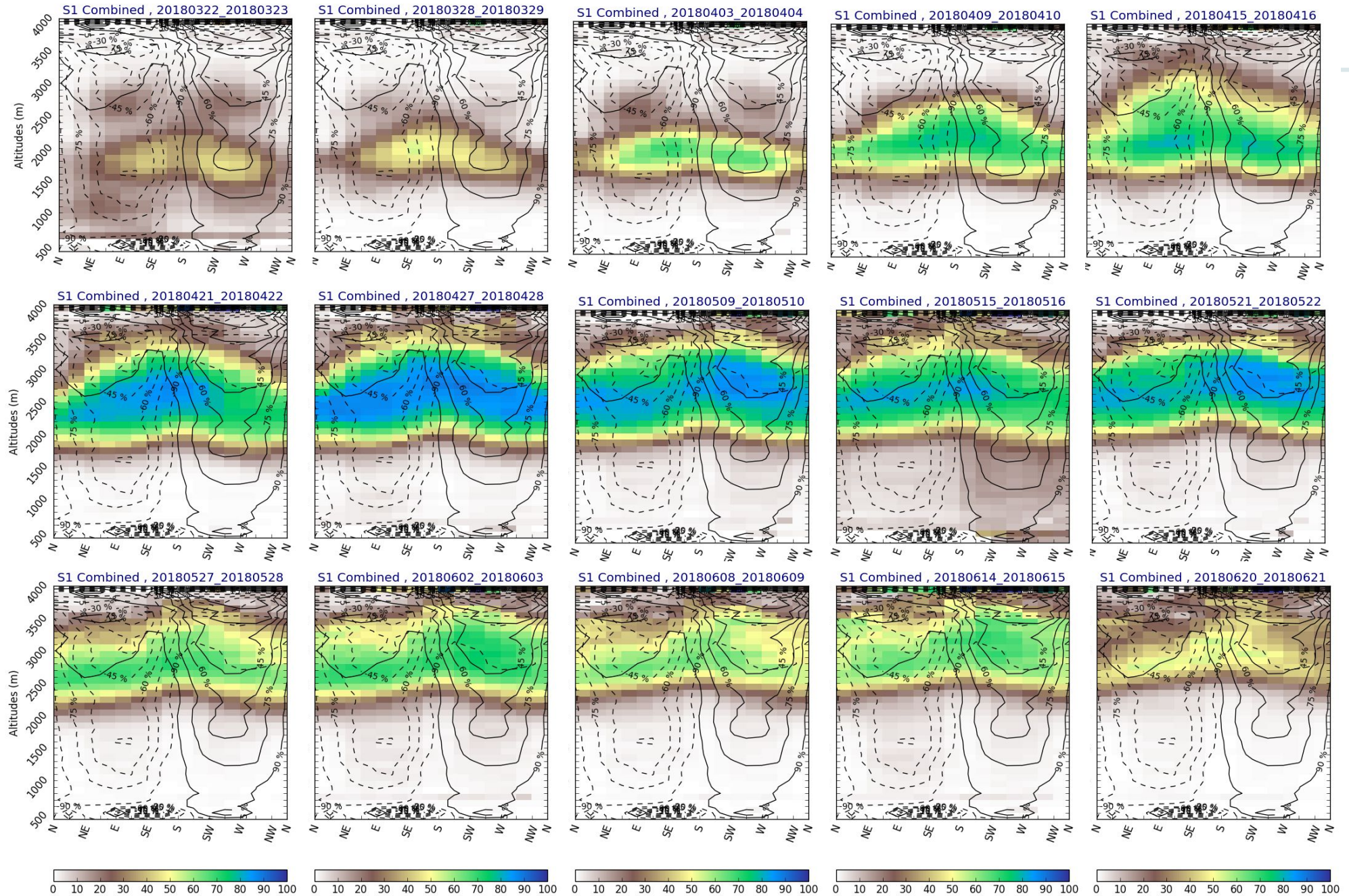


Wet Snow (%)

The normalized percentage of snow-covered pixels by classes of elevation and orientation (0 to 100%) for the massif "Oisans".
Way to mix the two representations to delimit dry snow and wet snow (Karbou et al. 2021)

Principales caractéristiques de l'enneigement

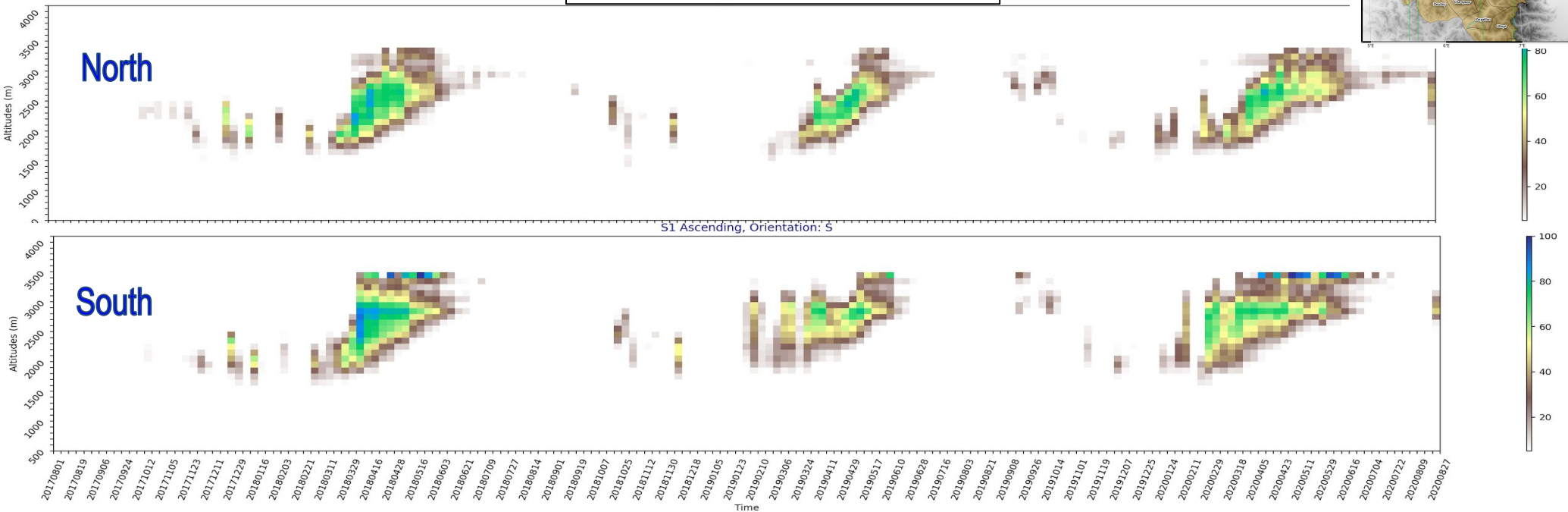
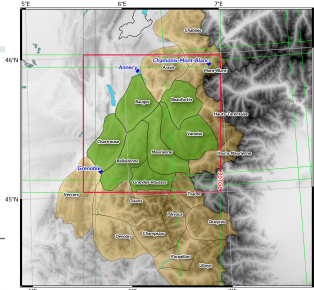
Lignes de fonte



Principales caractéristiques de l'enneigement

Lignes de fonte

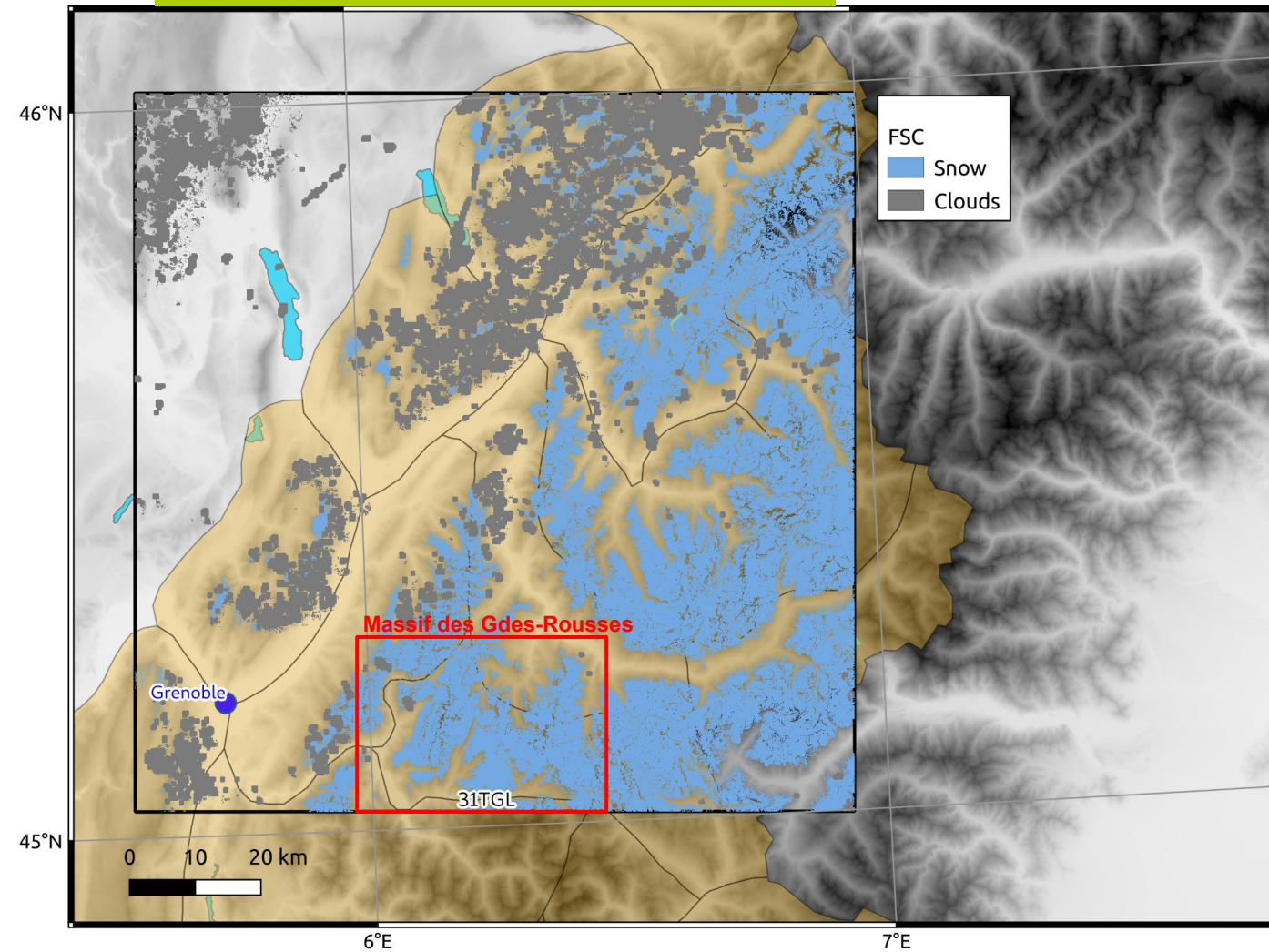
Grandes-Rousses massif
ascending (late afternoon)



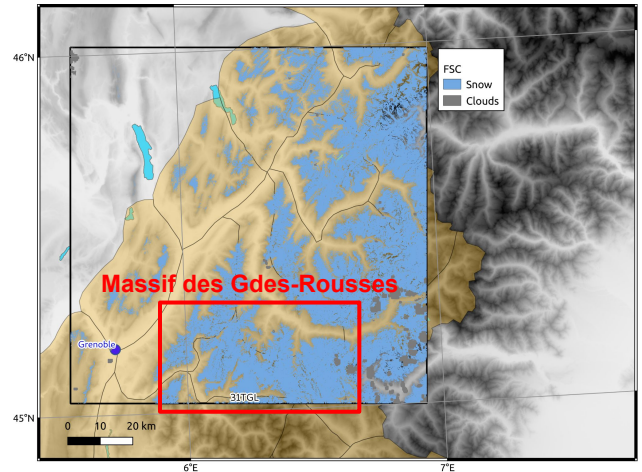
Scores ou métriques d'évaluation

THEIA, Copernicus Snow & Ice, Crocus, Massif : Grandes-Rousses

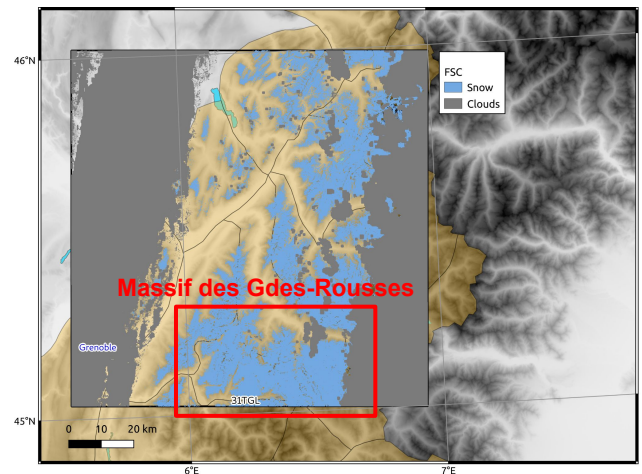
Sentinel-2 snow product, 25-04-2018



20-04-2018



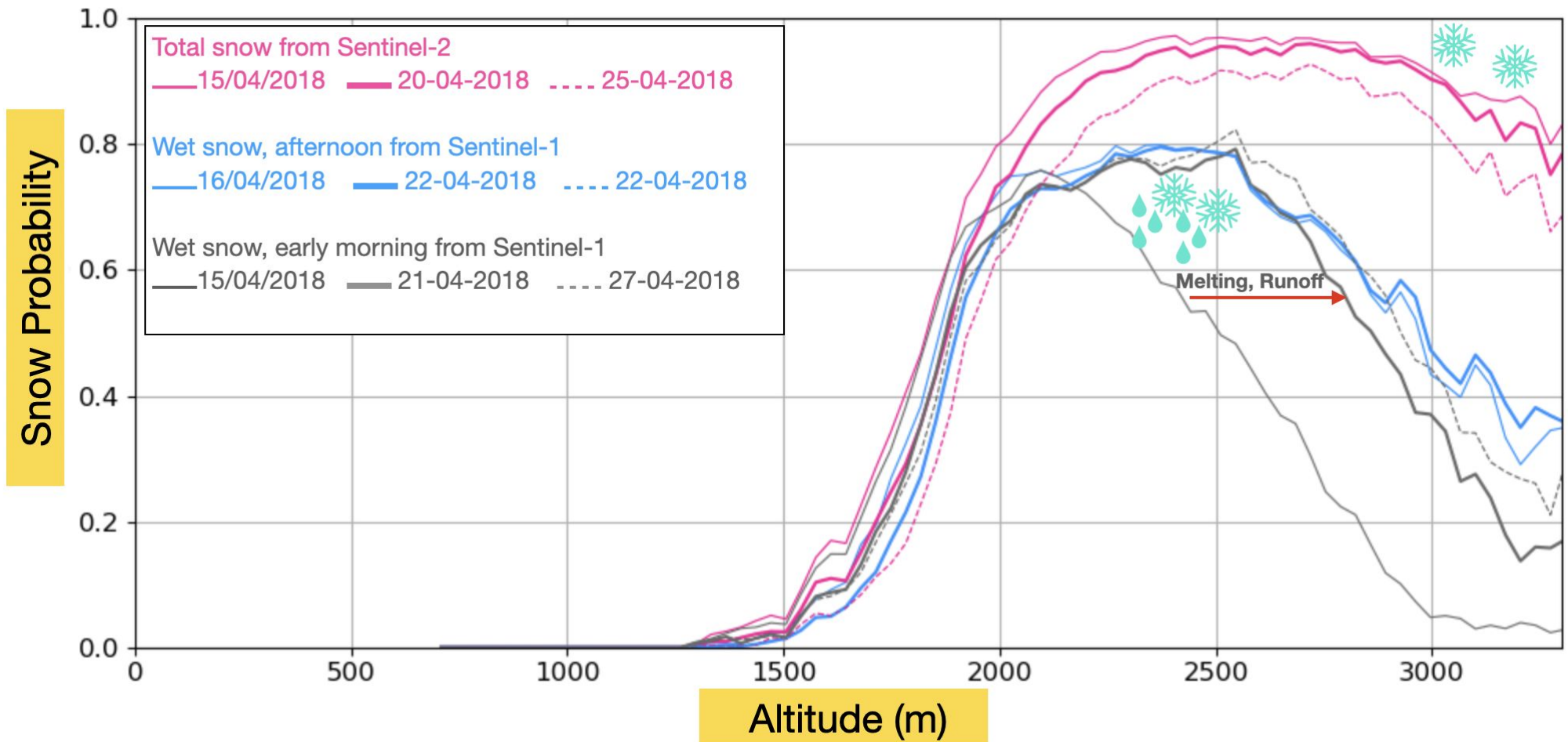
15-04-2018



Scores ou métriques d'évaluation

THEIA, Copernicus Snow & Ice, Crocus, Massif : Grandes-Rousses

PSSP (Probabilistic Score for Satellite Products): Karbou et al. 2022

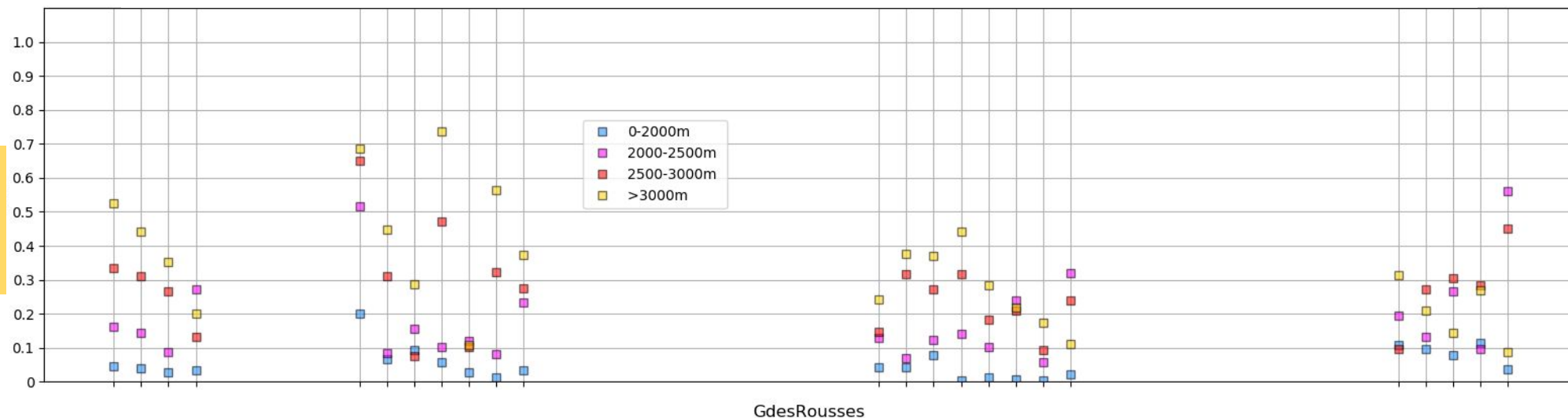


Scores ou métriques d'évaluation

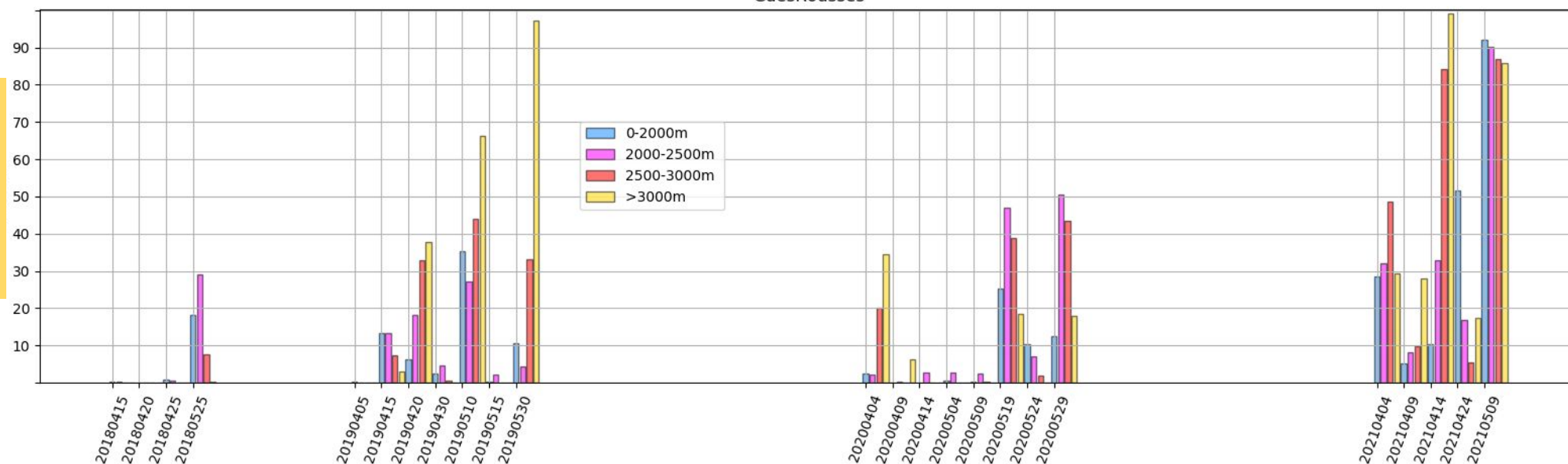
THEIA, Copernicus Snow & Ice, Crocus, Massif : Grandes-Rousses

PSSP (Probabilistic Score for Satellite Products): Karbou et al. 2022

RMSE



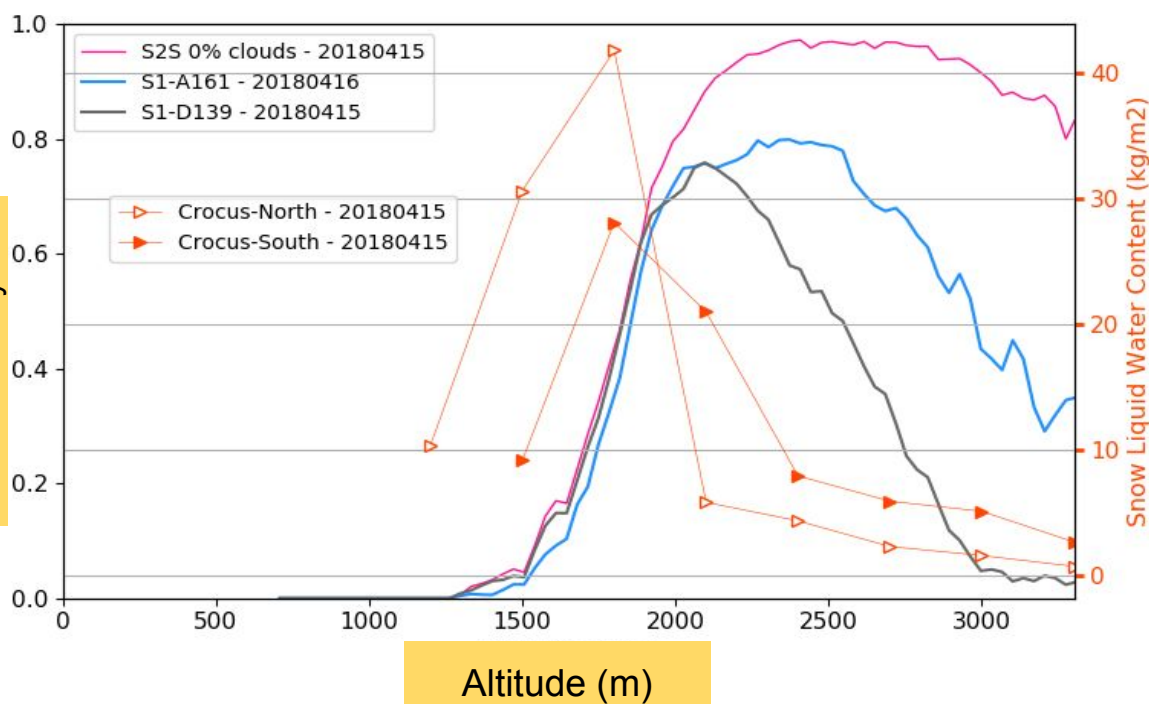
CLOUDS (%)



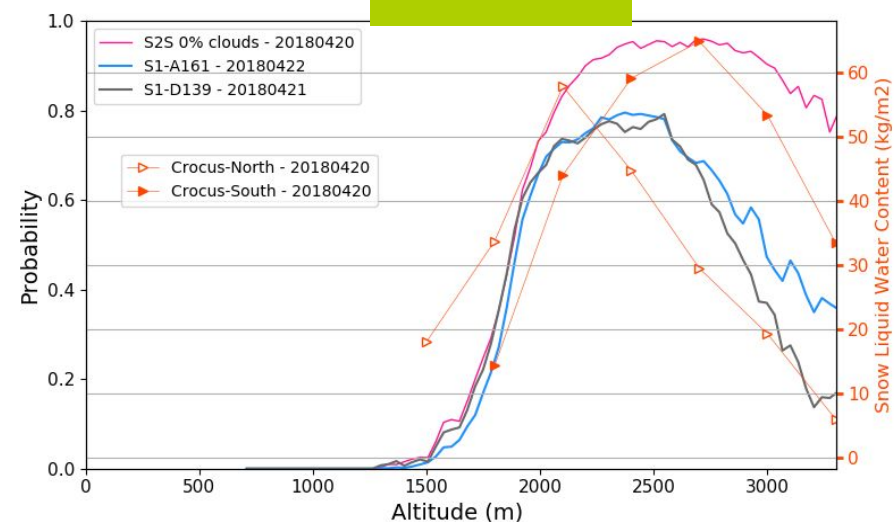
Scores ou métriques d'évaluation

THEIA, Copernicus Snow & Ice, Crocus, Massif : Grandes-Rousses

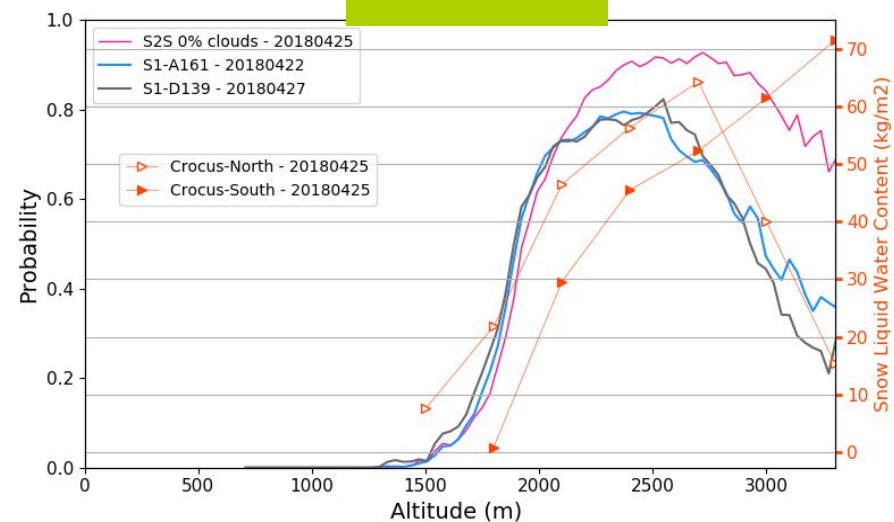
PSSP (Probabilistic Score for Satellite Products)



20-04-2018



25-04-2018



Suivi de la neige humide à Météo-France à partir de données Sentinel-1 prétraitées via la plateforme PEPS.

Travaux algorithmiques en cours pour améliorer les produits binaires de neige et leur exploitation dans le modèle de neige Crocus

D'autres travaux portent sur l'extraction des principales caractéristiques de l'enneigement humide à l'échelle de zones d'intérêt comme les massifs \Rightarrow lignes de fonte, lignes d'enneigement.

De nouveaux scores développés pour inter-comparer les produits satellitaires et les sorties de modèles, des critères de corrélations croisées sur des séries temporelles d'images pour sélectionner les meilleures images de référence, ...

En plus de la neige humide, les observations Sentinel-1 sont également utilisées à Météo-France pour le suivi de l'activité avalancheuse et pour la détection des lacs de montagne.

Merci pour votre attention

