

# Suivre la fonte des neiges par imagerie SAR au Col du Lac Blanc



**Nguyen Clarisse**

Encadrée par Fatima Karbou et Isabelle Gouttevin  
équipe CEN/CENOBS

Remise du prix AAM Patrick Brochet  
20/03/2026

# Enjeux du stage



Source : Rétro-analyse, 2024, RTM



Source : Benoit Lagneau (Le Dauphiné)

## Crue du 20-21 juin 2024, à la Bérarde

- fonte nivale importante
- cumul estimé à 130 mm en 48h avec une LPN oscillant entre 3500 m et 4000 m



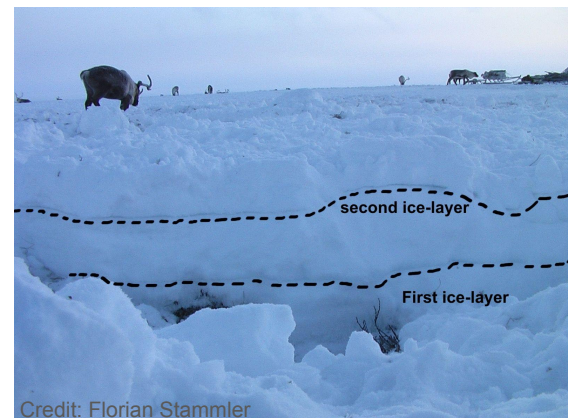
Avalanche de neige humide

Source : ortovox

## Événements de pluie sur neige (ROSE)

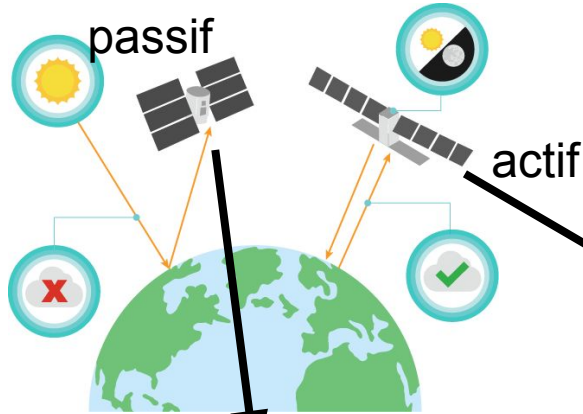


Crédits : Bert Jansen / A&E & ICE



Credit: Florian Stammer

# Synthetic Aperture Radar (SAR)

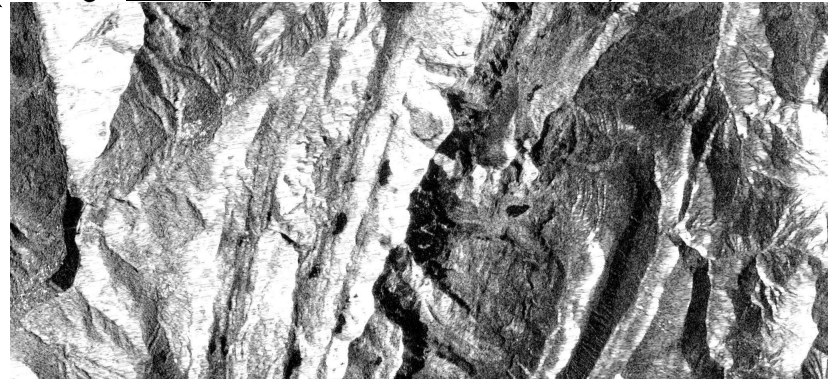


- radar en bande C (fréquence de 5.405 GHz, micro-ondes)
  - capteur actif
  - coefficients de rétrodiffusion (backscatter)  $\sigma^0$
  - indépendant des conditions nuageuses et diurnes
- sensible au contenu en eau liquide**



Image optique Sentinel-2 (22-08-2023, Composition)

Image SAR Sentinel-1 (18-08-2023, VV)

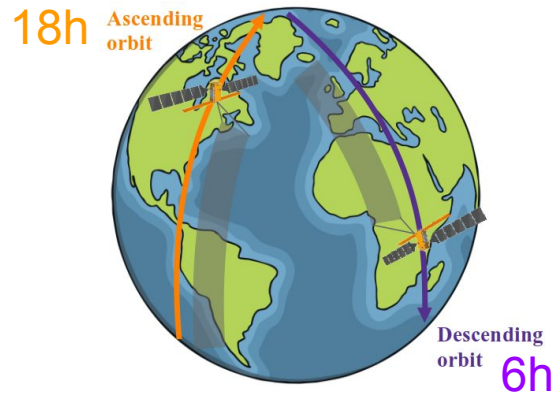


# Sentinel-1

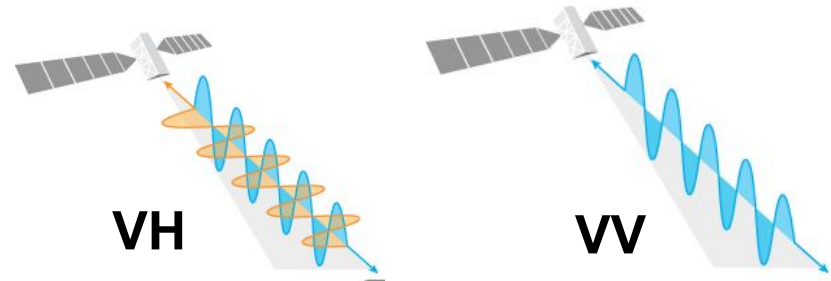


- ❖ Radar bande C
- ❖ Mission ESA, lancé en 2014 et 2016
- ❖ Temps de revisite : **6 jours** (12j en 2022-2024)
- ❖ Résolution de **20 m**
- ❖ **9 années hydrologiques** (2015-2016 à 2023-2024)

2 orbites : **ASC** et **DES**



coefficients de rétrodiffusion (backscatter)  $\sigma^0$   
2 polarisations : **VV** et **VH**



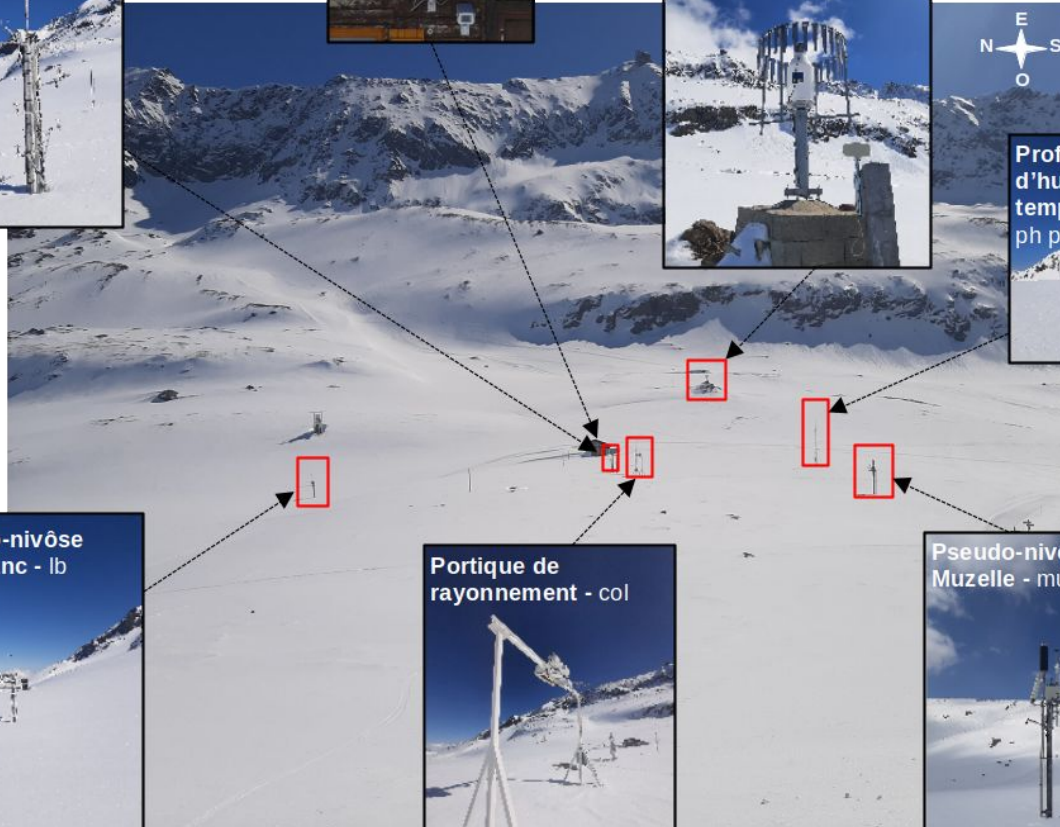
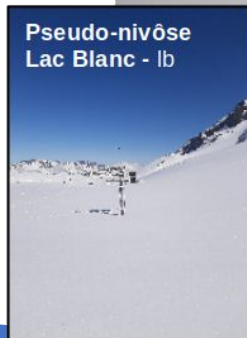
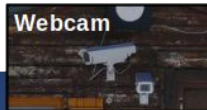
Quelle interprétation physique des signaux SAR selon l'évolution de l'enneigement saisonnier ?

→ Phases de fonte du manteau neigeux

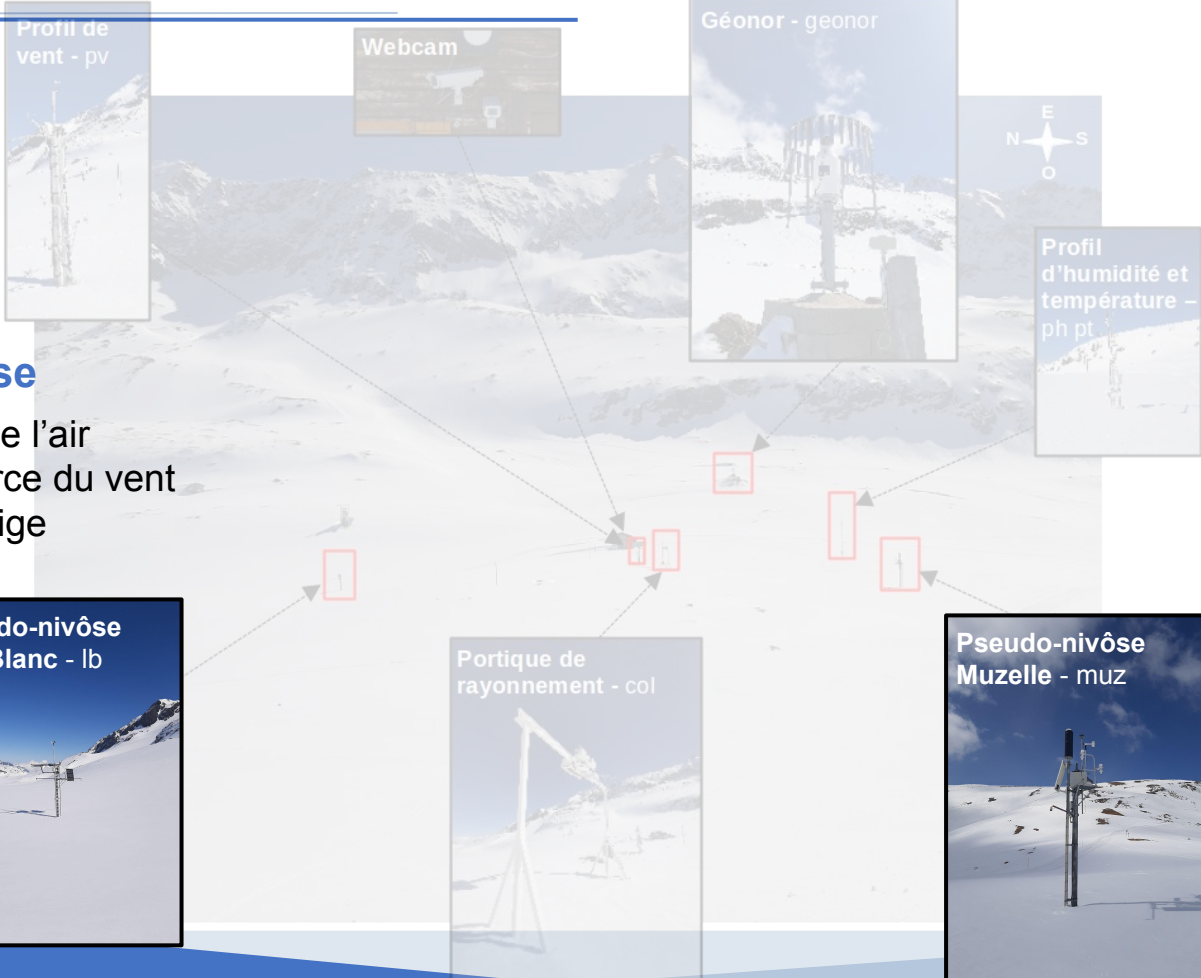
→ 9 années hydrologiques  
(2015-2016 à 2023-2024)



# Site Instrumental du Col du Lac Blanc



# Site Instrumental du Col du Lac Blanc



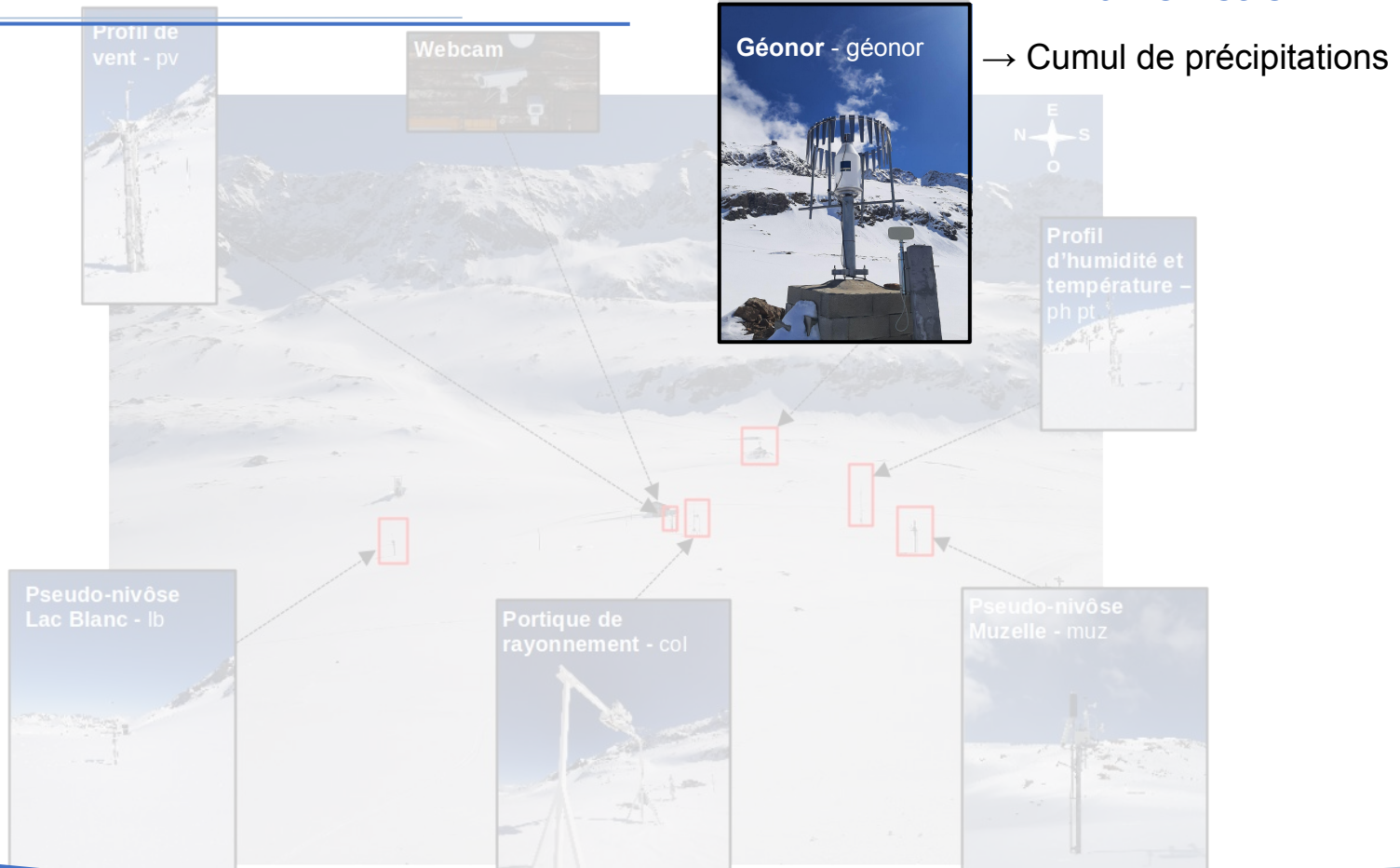
## Pseudo-nivôse

- Température de l'air
- Direction et force du vent
- Hauteur de neige



# Site Instrumental du Col du Lac Blanc

## Pluviomètre



# Site Instrumental du Col du Lac Blanc





Profil de  
vent - pv

Webcam

Géonor - geonor



Simulations CROCUS forcées au Col du Lac Blanc  
par les données in-situ ou réanalyses

→ Contenu en eau liquide (LWC)

→ Snow Water Equivalent (SWE)

Pseudo-nivôse  
Lac Blanc - lb



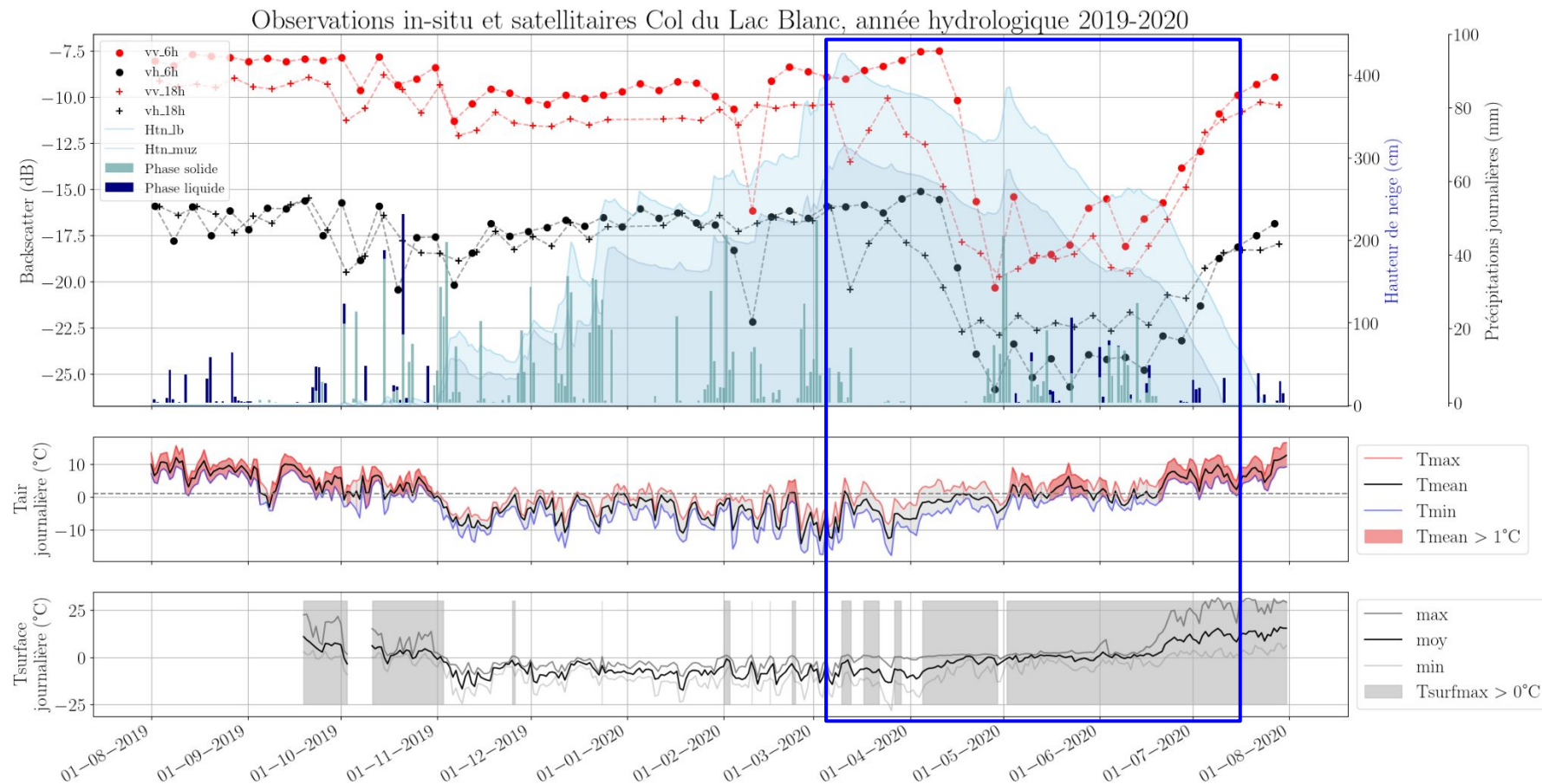
Portique de  
mesure



Pseudo-nivôse  
Muzelle - muz

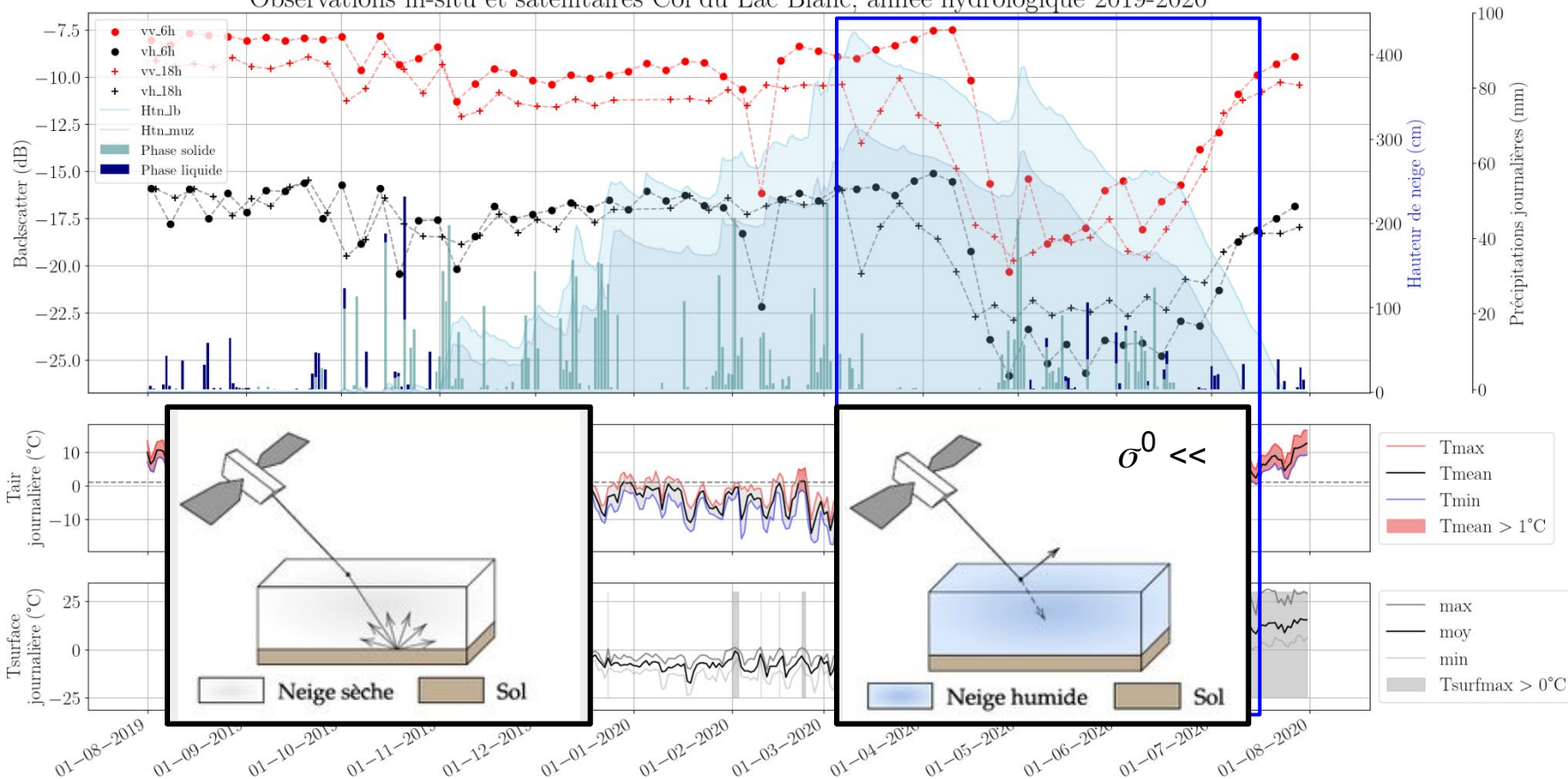


# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique



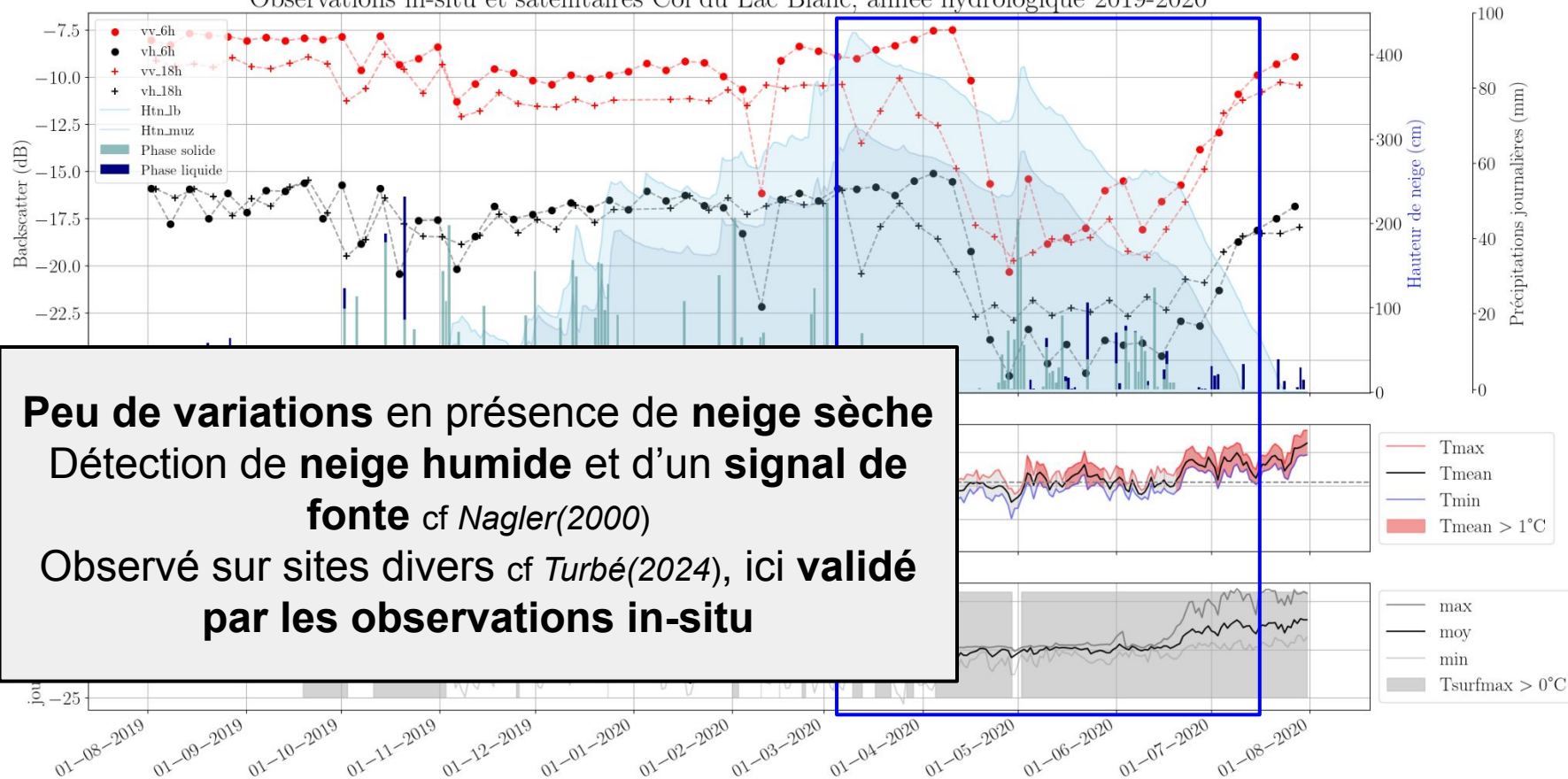
# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2019-2020

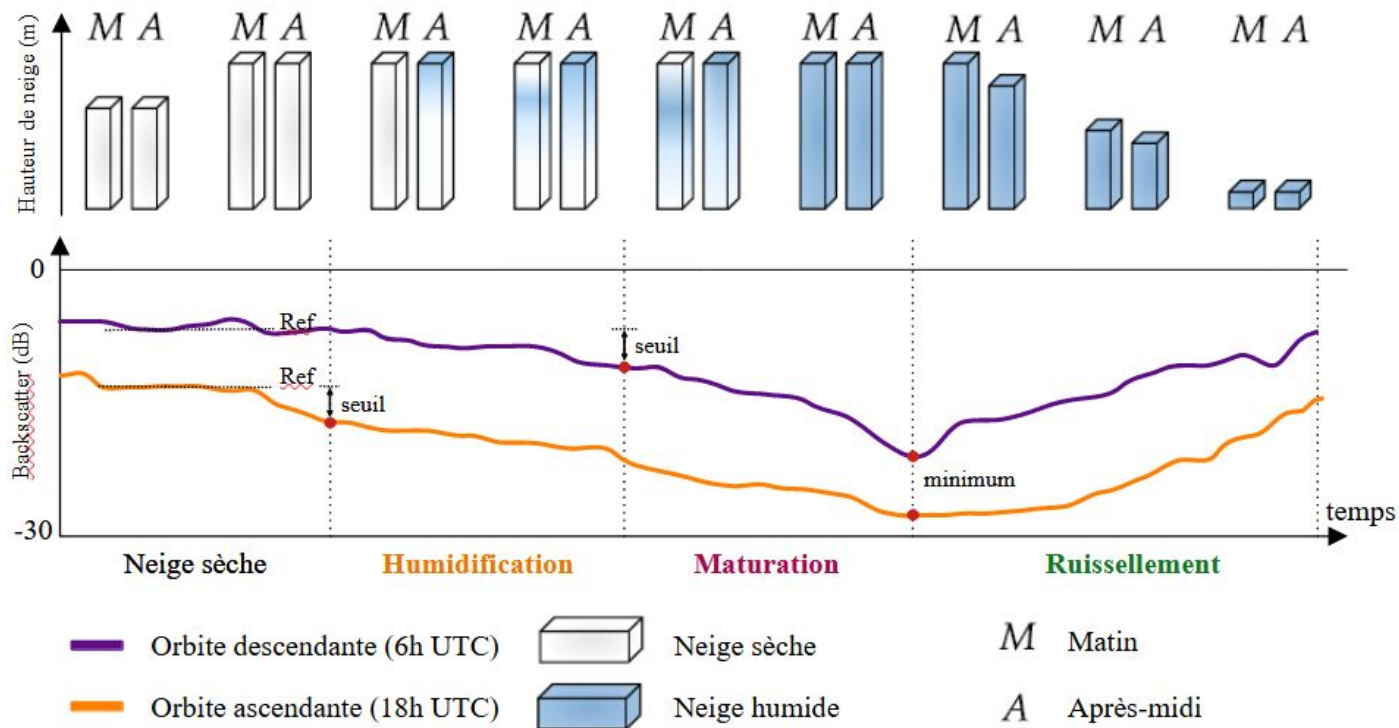


# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2019-2020



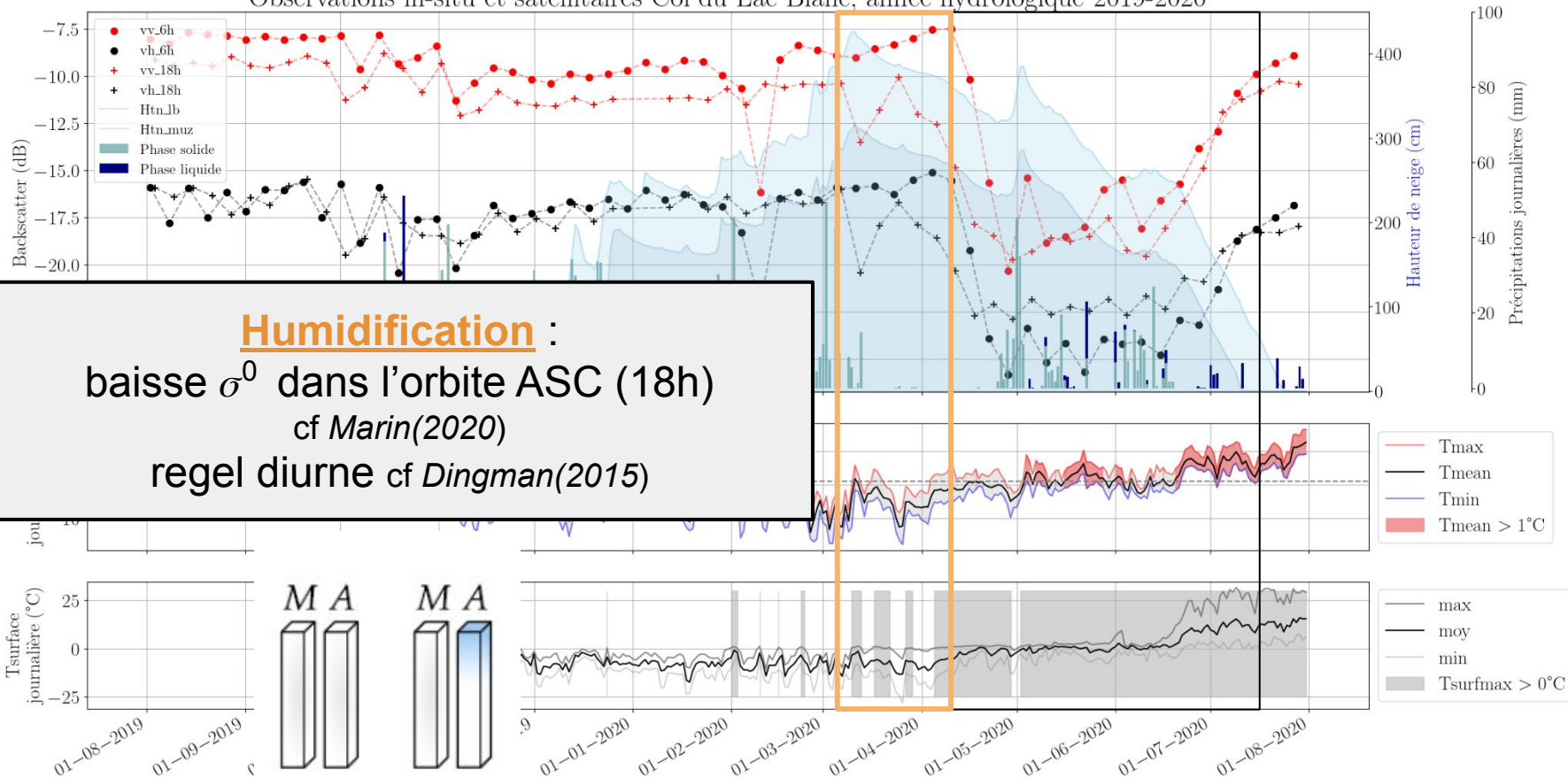
# Un schéma conceptuel de la fonte du manteau neigeux



Source : Adapté de M.Gallet, 2024

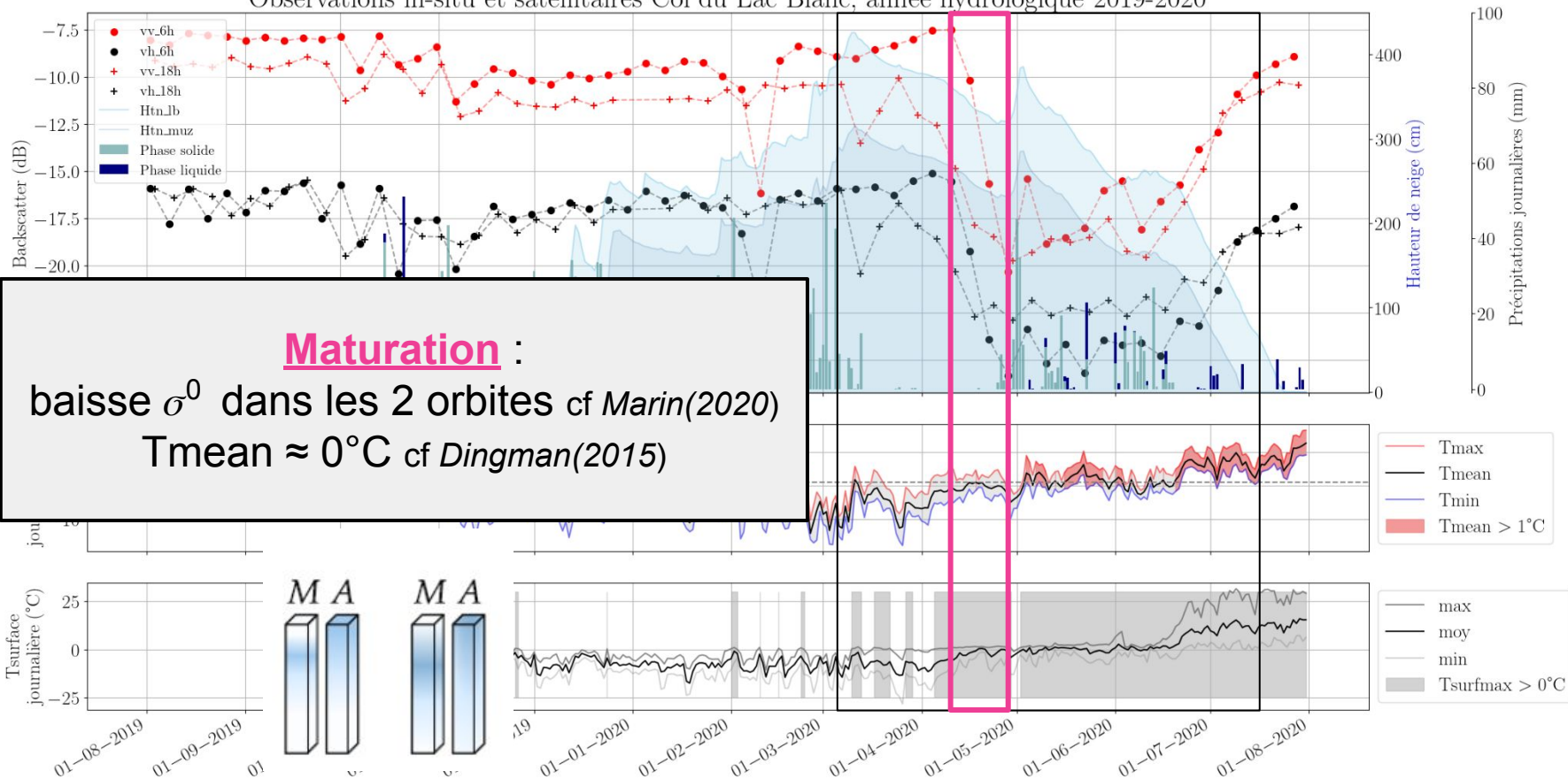
# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2019-2020



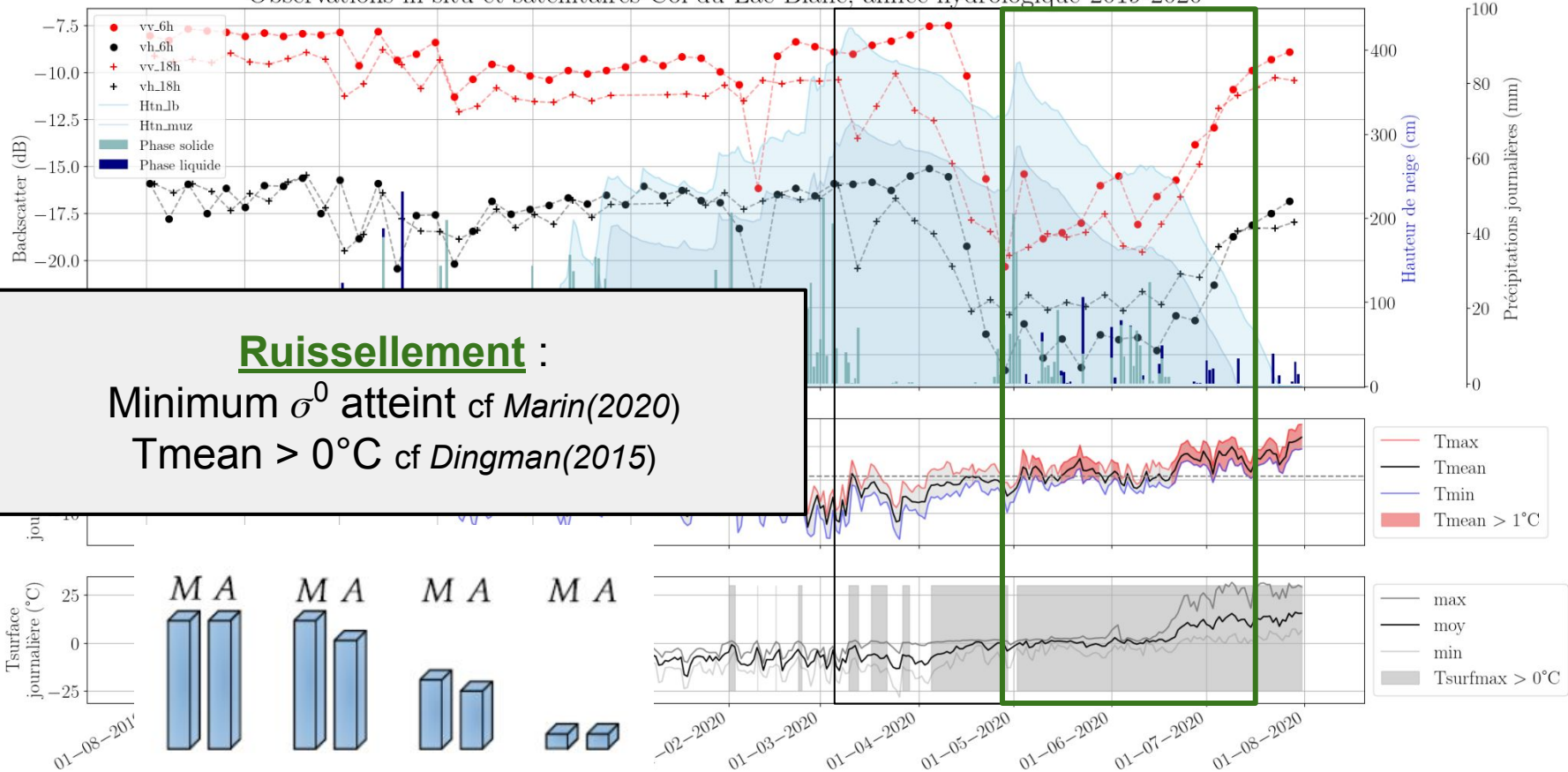
# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2019-2020



# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

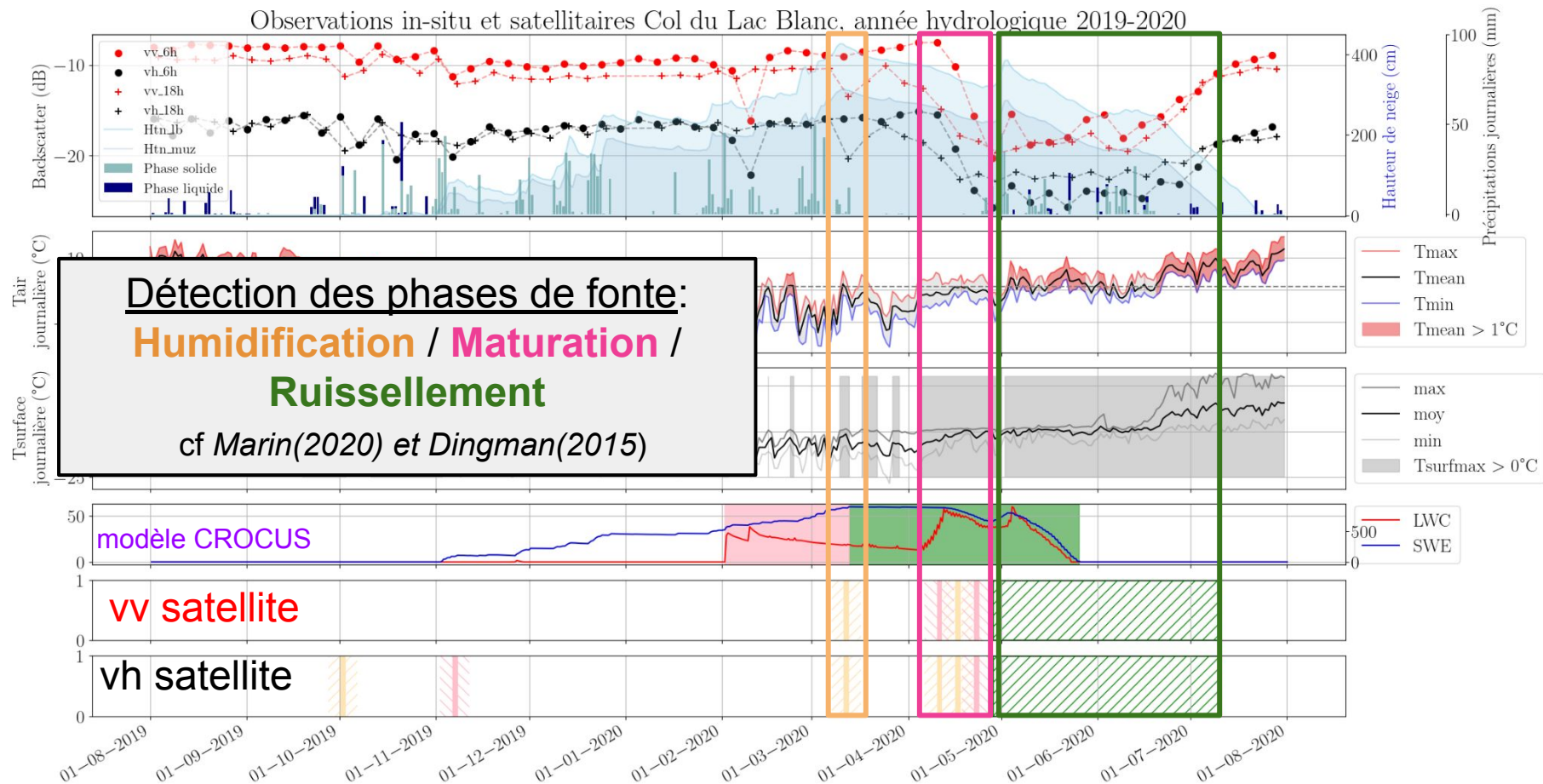
Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2019-2020



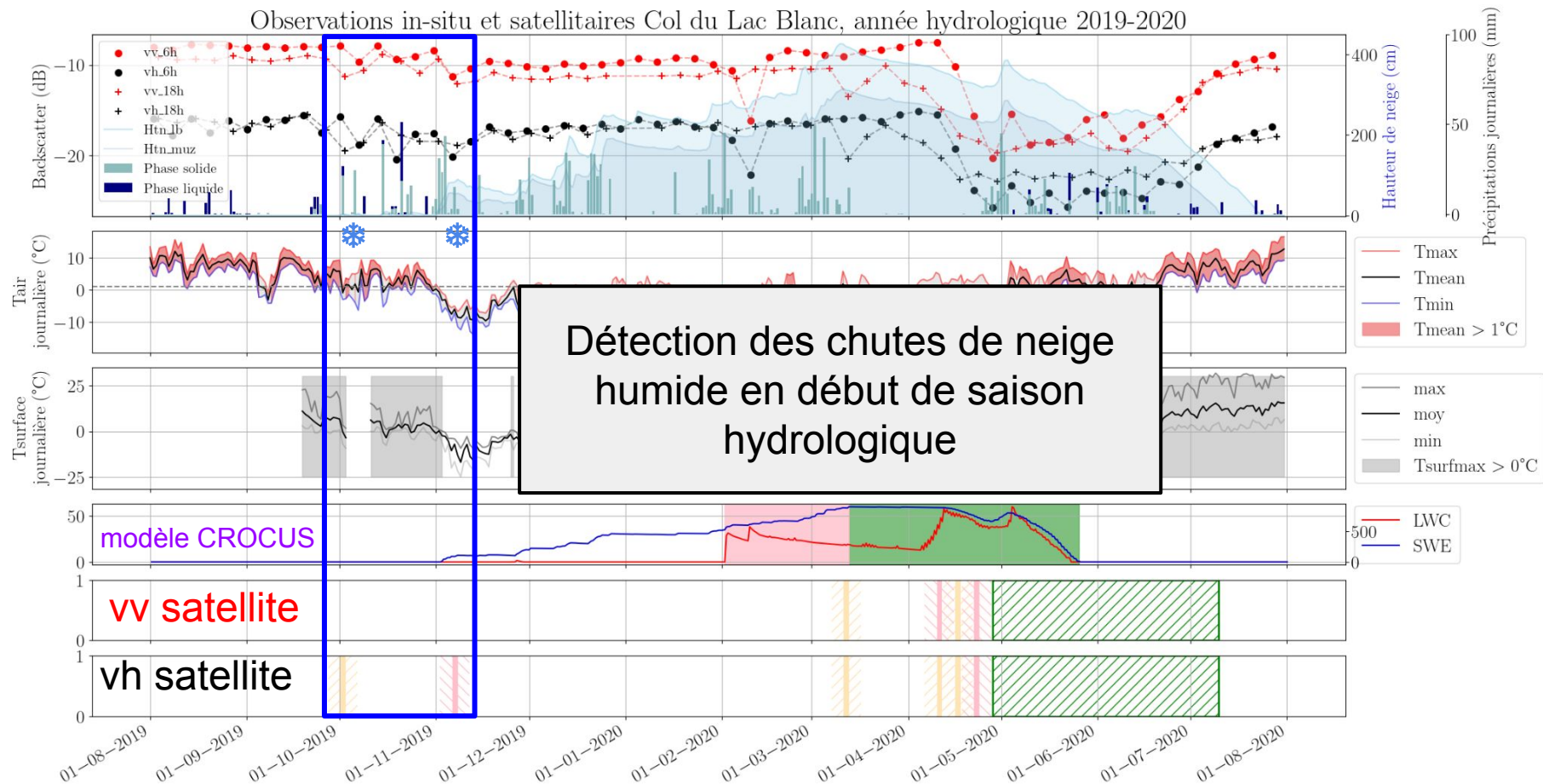
## Ruissellement :

Minimum  $\sigma^0$  atteint cf *Marin(2020)*  
 Tmean > 0°C cf *Dingman(2015)*

# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique



# Evolution du manteau neigeux au cours d'une année hydrologique

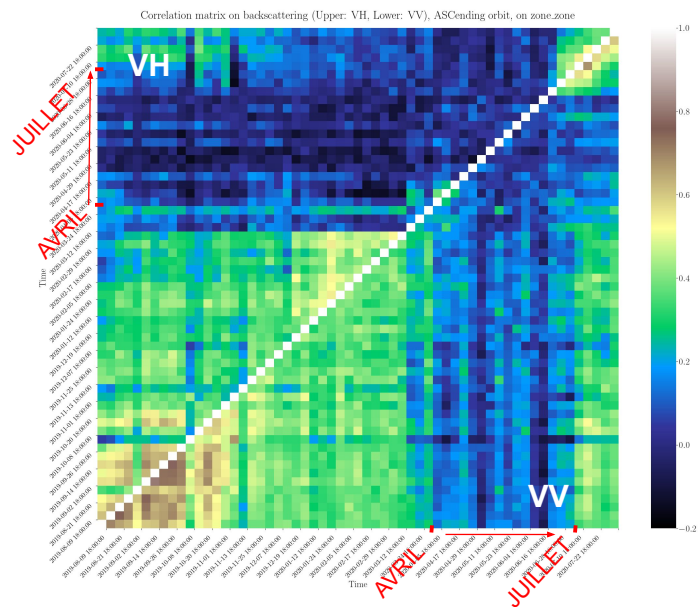


# Une autre manière de détecter la neige humide ...

Calcul de **corrélation d'une date avec toutes les autres de la série temporelle SAR**

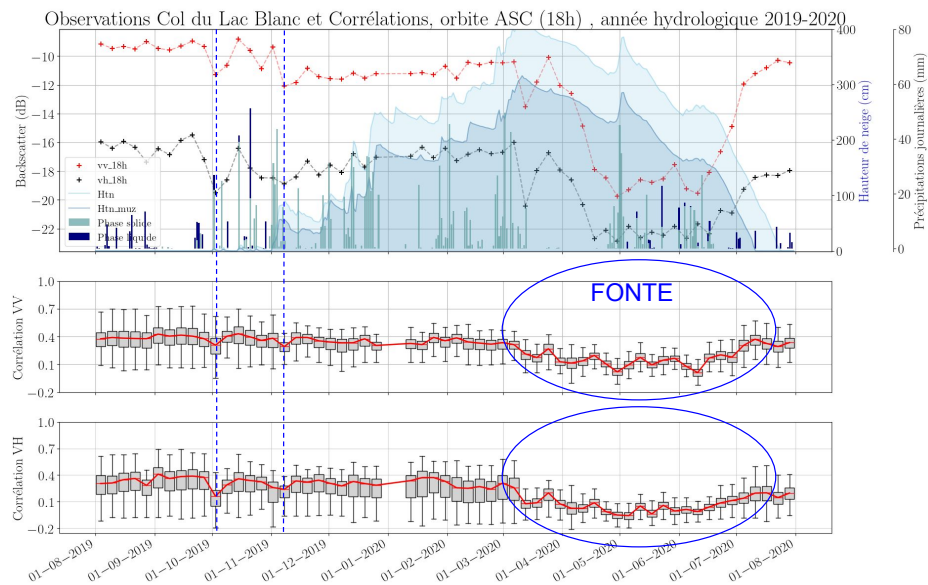
**SAR**

→ détection de date exceptionnelle



**Faible corrélation** = date différente du reste de la série temporelle

**Forte corrélation** = date similaire au reste de la série temporelle



# Conclusion

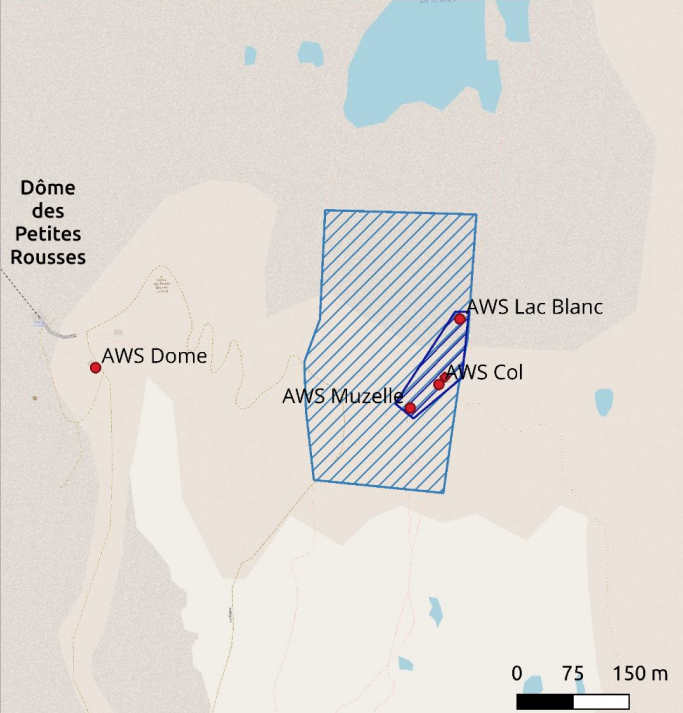
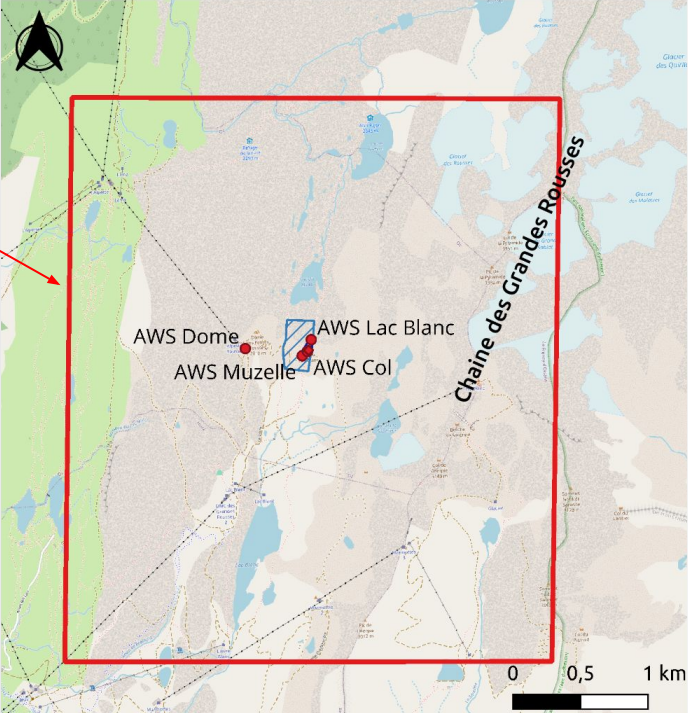
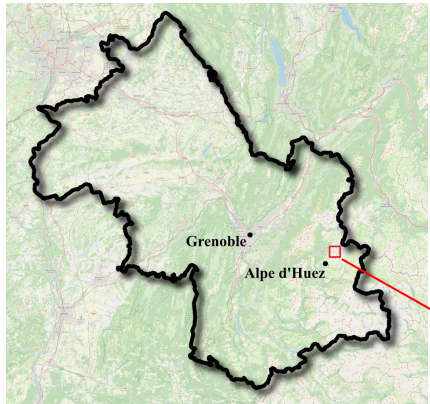
---




- Des **schémas conceptuels de fonte** ( cf Dingman(2015), Marin(2020), Beltramone(2023) ) ont été **vérifiés par les observations in-situ** au Col du Lac Blanc
- Une nouvelle méthode utilisant les **corrélations croisées** pour détecter la neige humide
- Etude des événements de pluie sur neige au Col du Lac Blanc → **une signature SAR difficile à exploiter** : un autre site d'étude ?



Merci pour votre attention

# Zone d'étude : Col du Lac Blanc



-  Zone étude Large
-  Zone intermédiaire
-  Zone zoom instruments



# Algorithmes de Marin

---

**Algorithm 1:** Identification of melting phases based on SNOW MODEL SIMULATIONS

---

**Input:** Liquid Water Content  $LWC$  and Snow Water Equivalent  $SWE$  observations for a given day  $d$ ,  $d \in \{1, 2, \dots, D\}$  with  $D$  total number of days with  $SWE > 0$ ,  $SWE_{max}$

**Output:** Onset moistening  $T_M$ , onset ripening  $T_R$ , onset runoff  $T_{RO}$

```
while  $d \leq D$  do
  if  $LWC_{max,d} > 0 \text{ kg/m}^2$  then
    # Snowpack is wet
    # Check moistening phase
    if  $(LWC_{max,d} > 1 \text{ kg/m}^2)$  and  $(LWC_{min,d} = 0 \text{ kg/m}^2)$  for at least
      2 days then
       $T_M = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
    # Check ripening phase
    if  $(LWC_{max,d} > 5 \text{ kg/m}^2)$  and  $(LWC_{min,d} > 0 \text{ kg/m}^2)$  then
       $T_R = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
    # Check runoff phase
    if  $(SWE_d == SWE_{max})$  then
       $T_{RO} = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
  end
end
else
  # Snowpack is dry
end
d ++
end
```

---

---

**Algorithm 2:** Identification of melting phases based on S1 backscatter time series

---

**Input:** Multitemporal backscattering observations for different tracks,  $\sigma_{morning}$  and  $\sigma_{afternoon}$ , for a given day  $d$ ,  $d \in \{1, \dots, d, \dots, D\}$  with  $D$  total number of observations

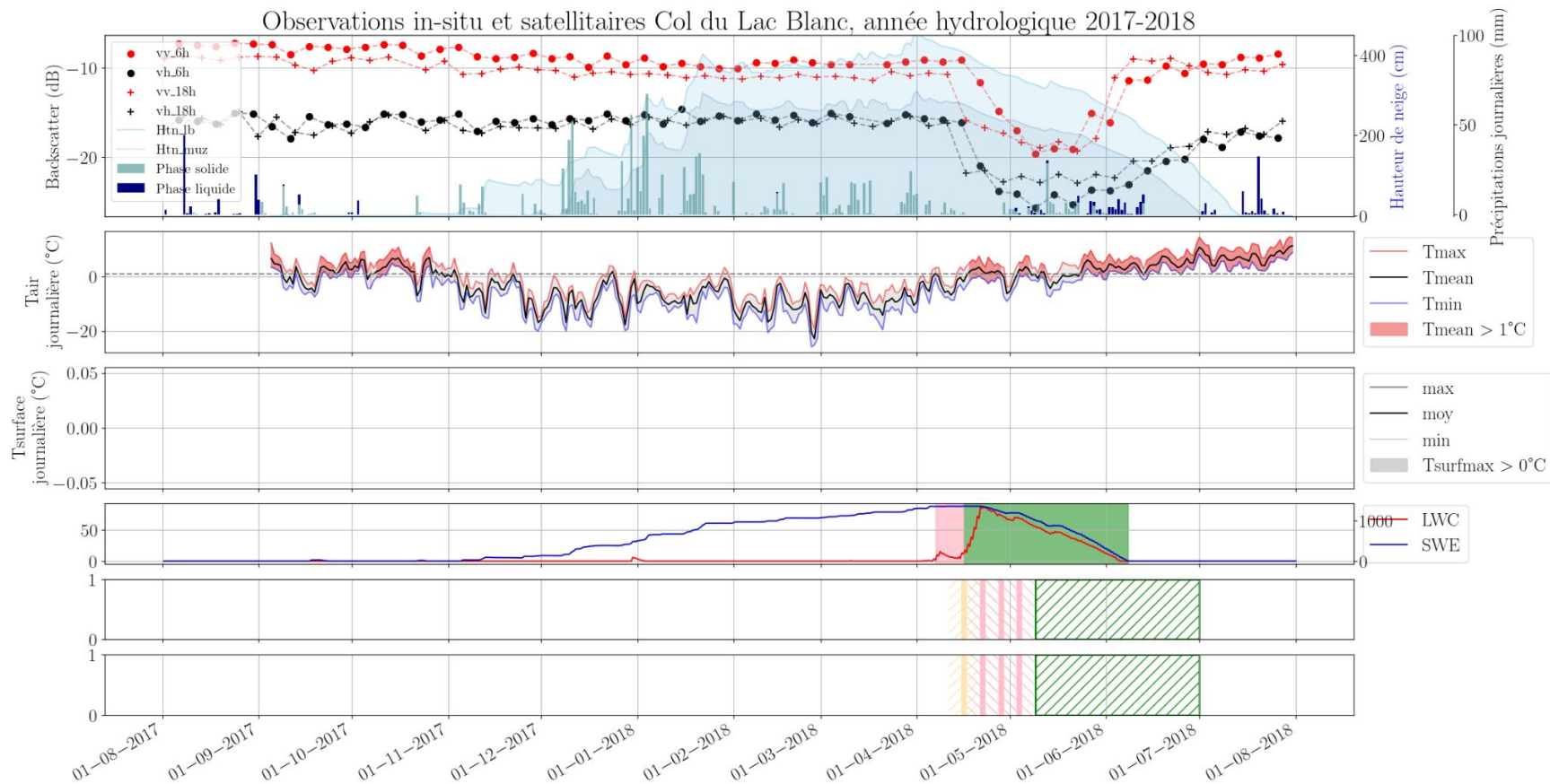
**Output:** Onset moistening  $T_M$ , onset ripening  $T_R$ , onset runoff  $T_{RO}$

```
while  $d \leq D$  do
  if  $\sigma_{afternoon,d} - \sigma_{dry} \geq -2 \text{ dB}$  then
    # Snowpack is wet
    # Check moistening phase
    if  $(\sigma_{morning,d} - \sigma_{dry} < -2 \text{ dB})$  then
       $T_M = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
    # Check ripening phase
    if  $(\sigma_{morning,d} - \sigma_{dry} \geq -2 \text{ dB})$  then
       $T_R = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
    # Check runoff phase
    if  $(\sigma_d == \sigma_{min})$  then
       $T_{RO} = d$ 
      # Do not check this condition anymore
      continue
    end
  end
end
else
  # Snowpack is dry
end
d ++
end
```

---

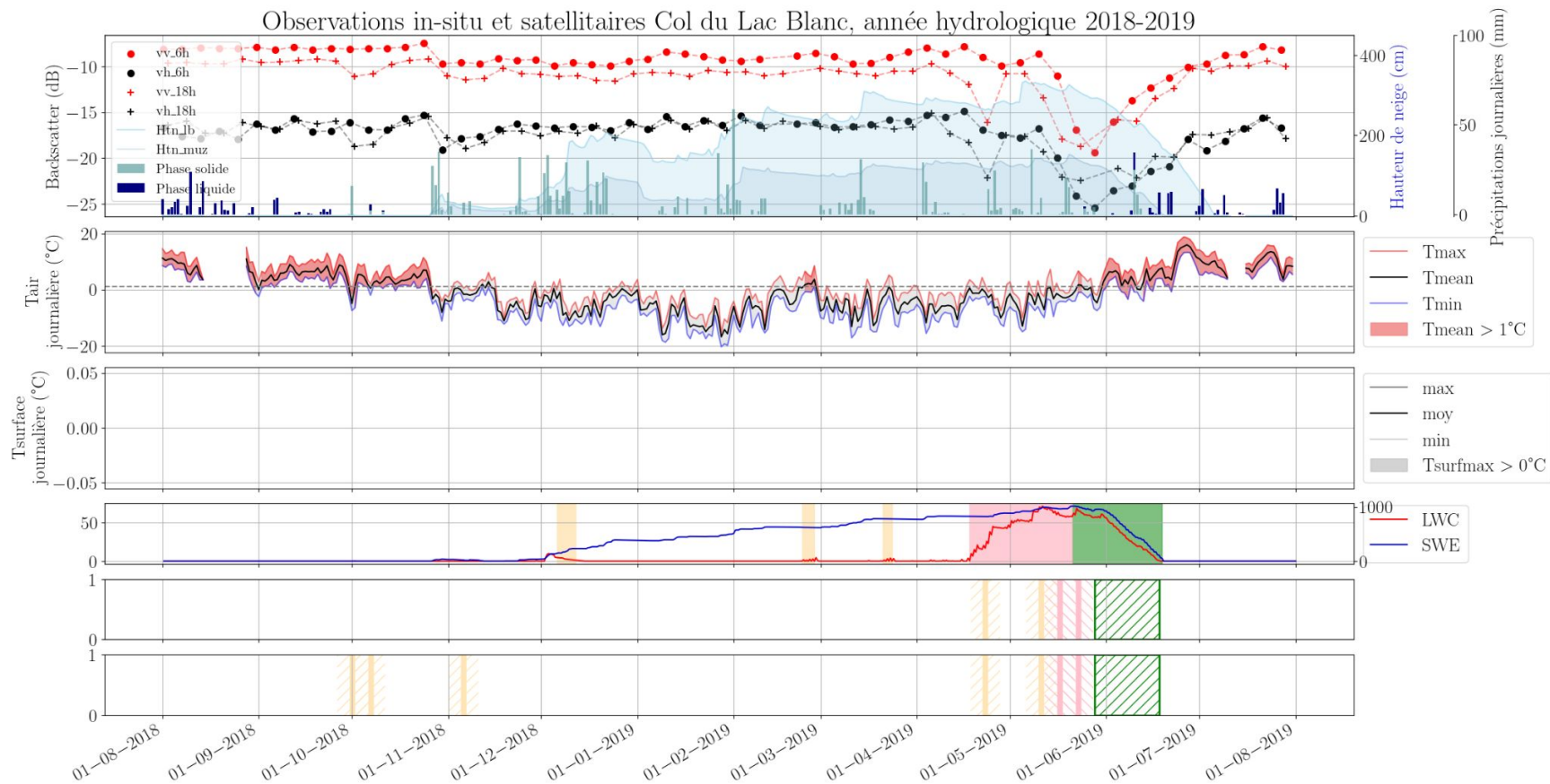
# 2017-2018

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2017-2018



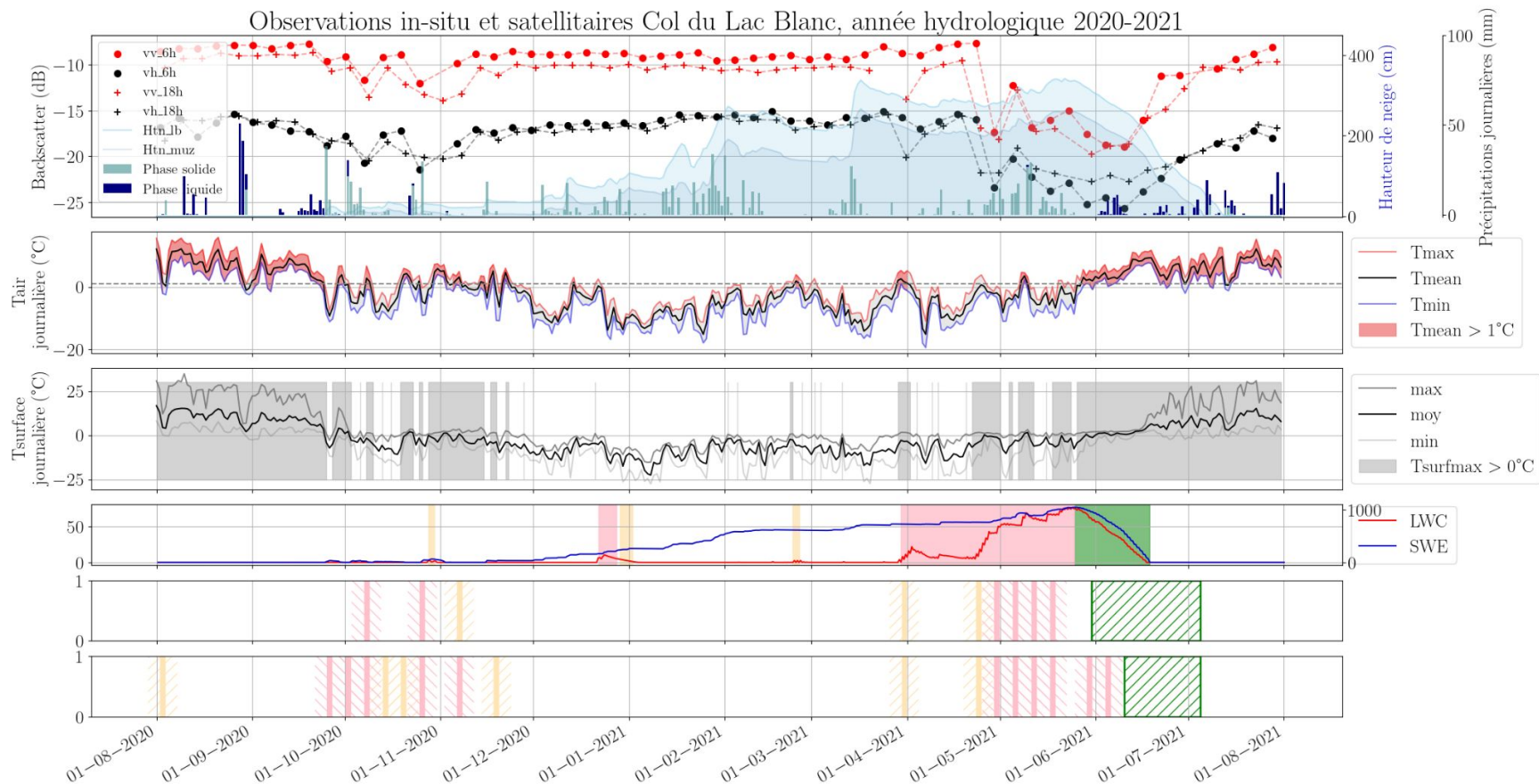
# 2018-2019

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2018-2019

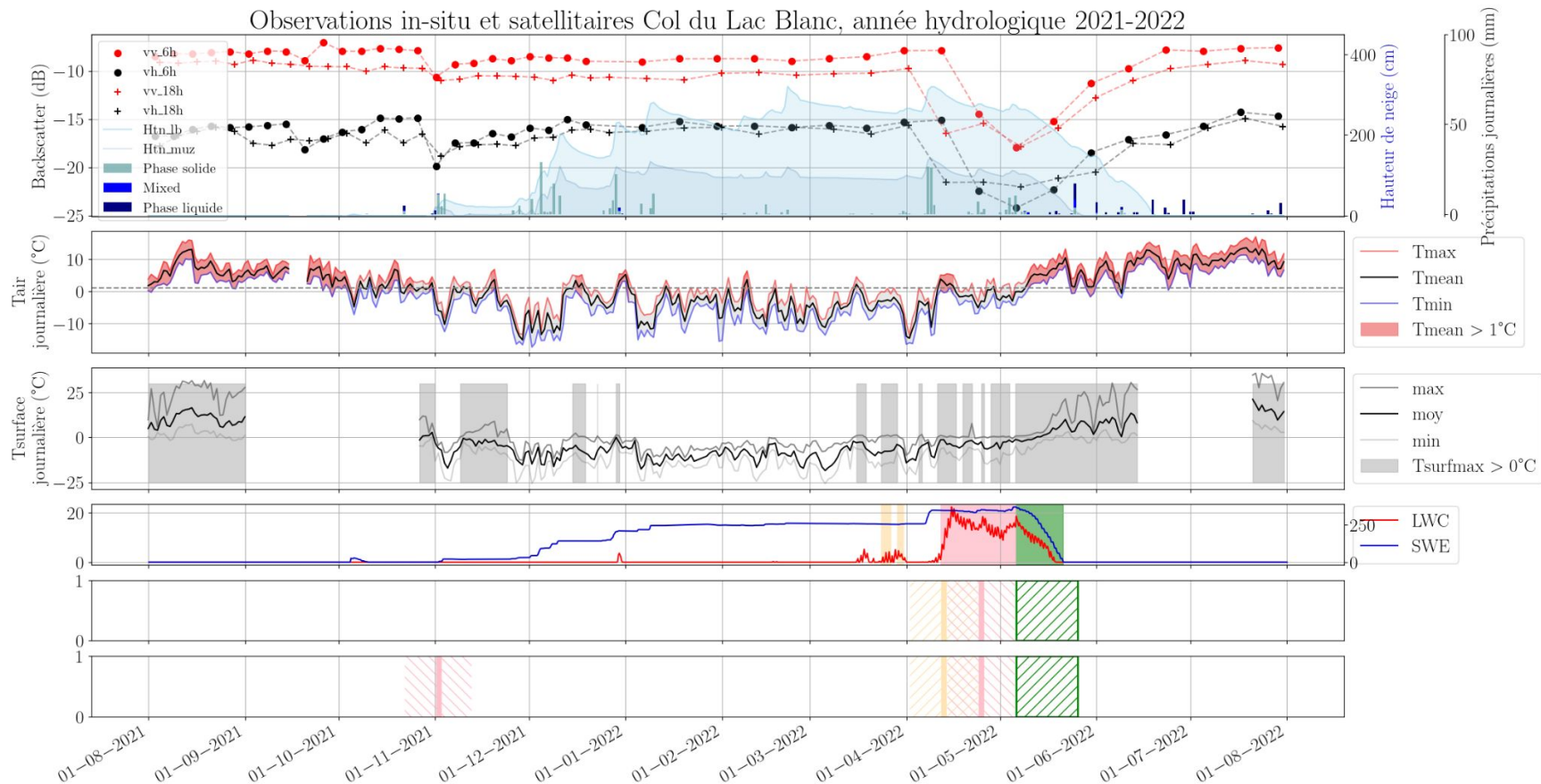


# 2020-2021

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2020-2021

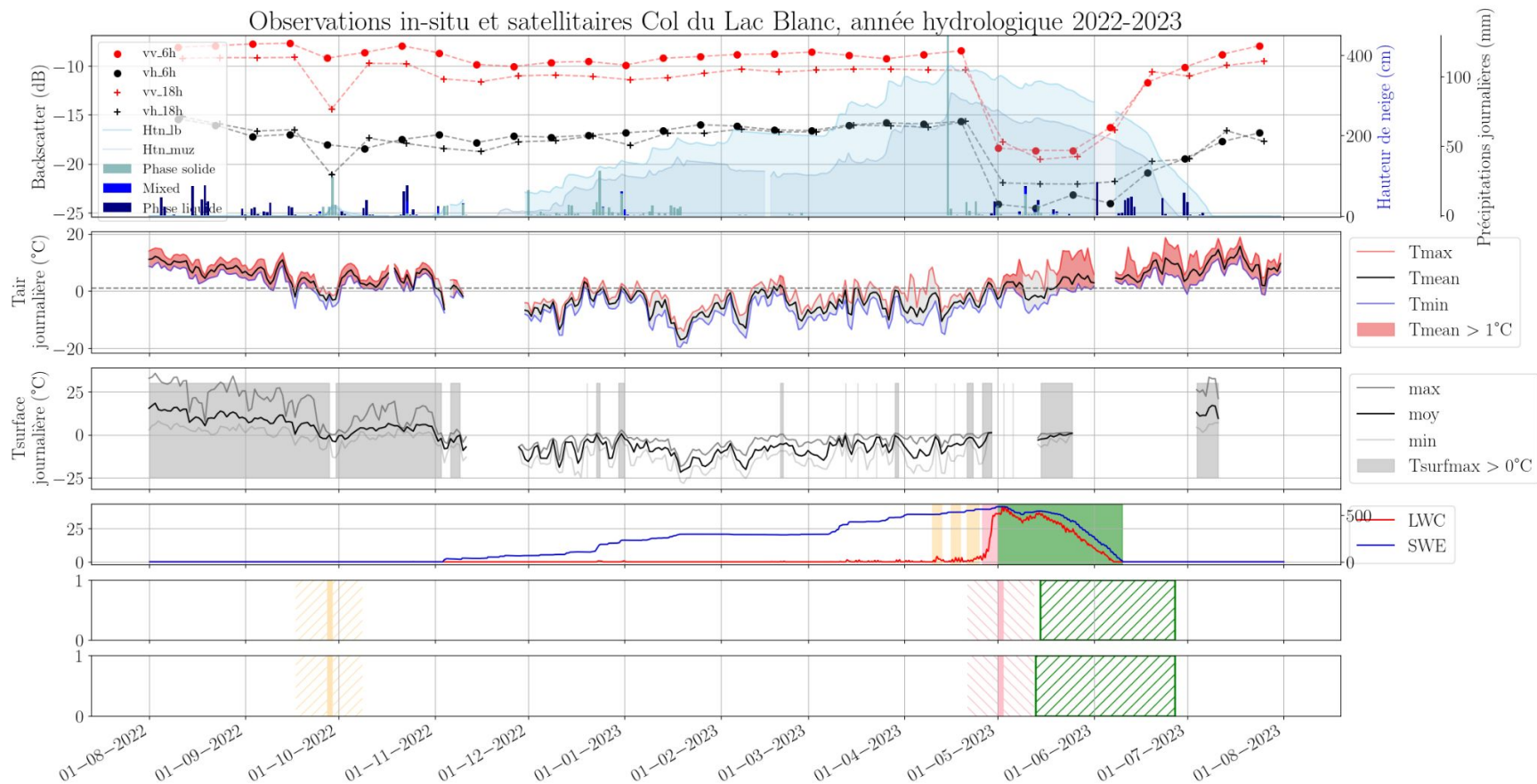


Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2021-2022

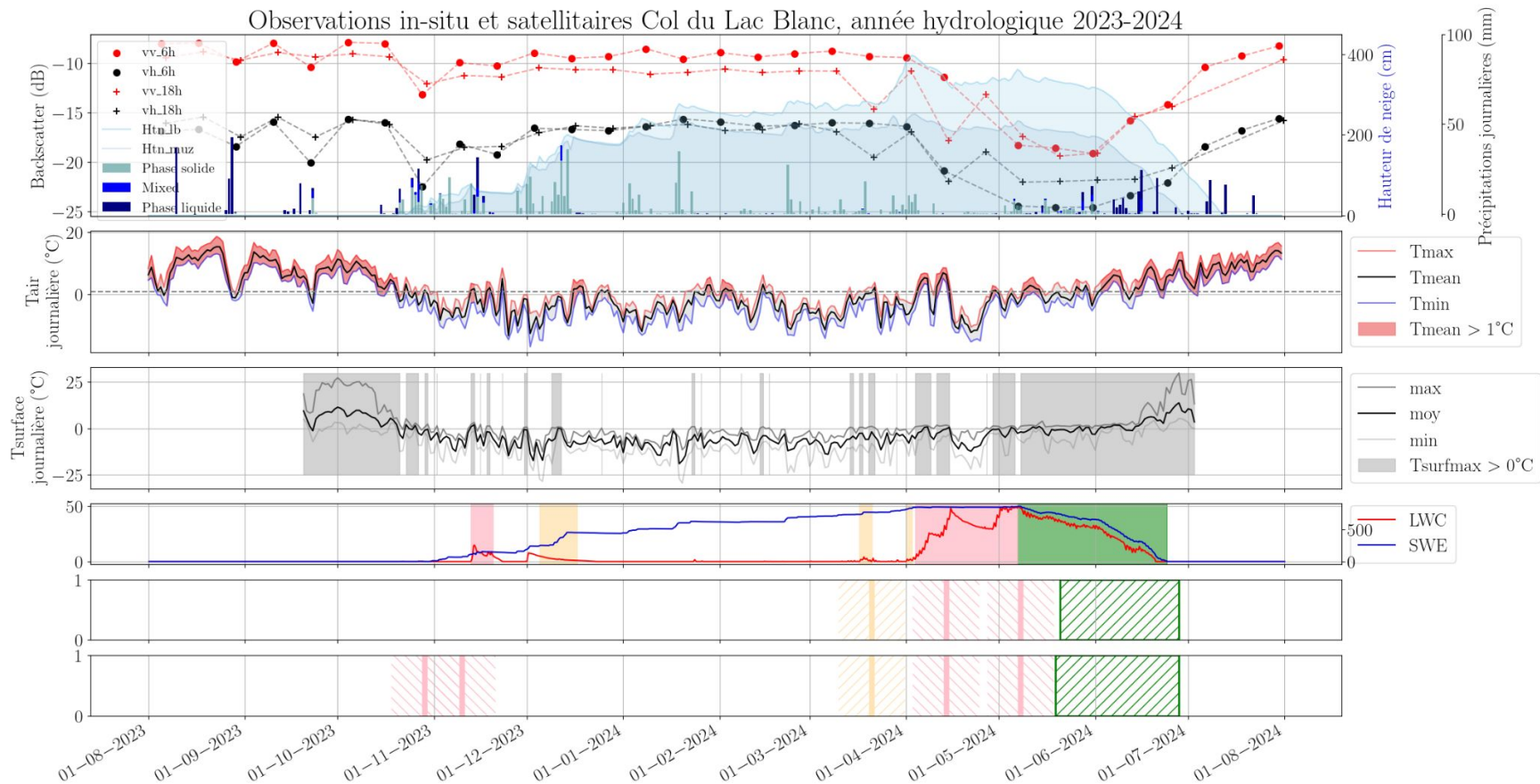


# 2022-2023

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2022-2023

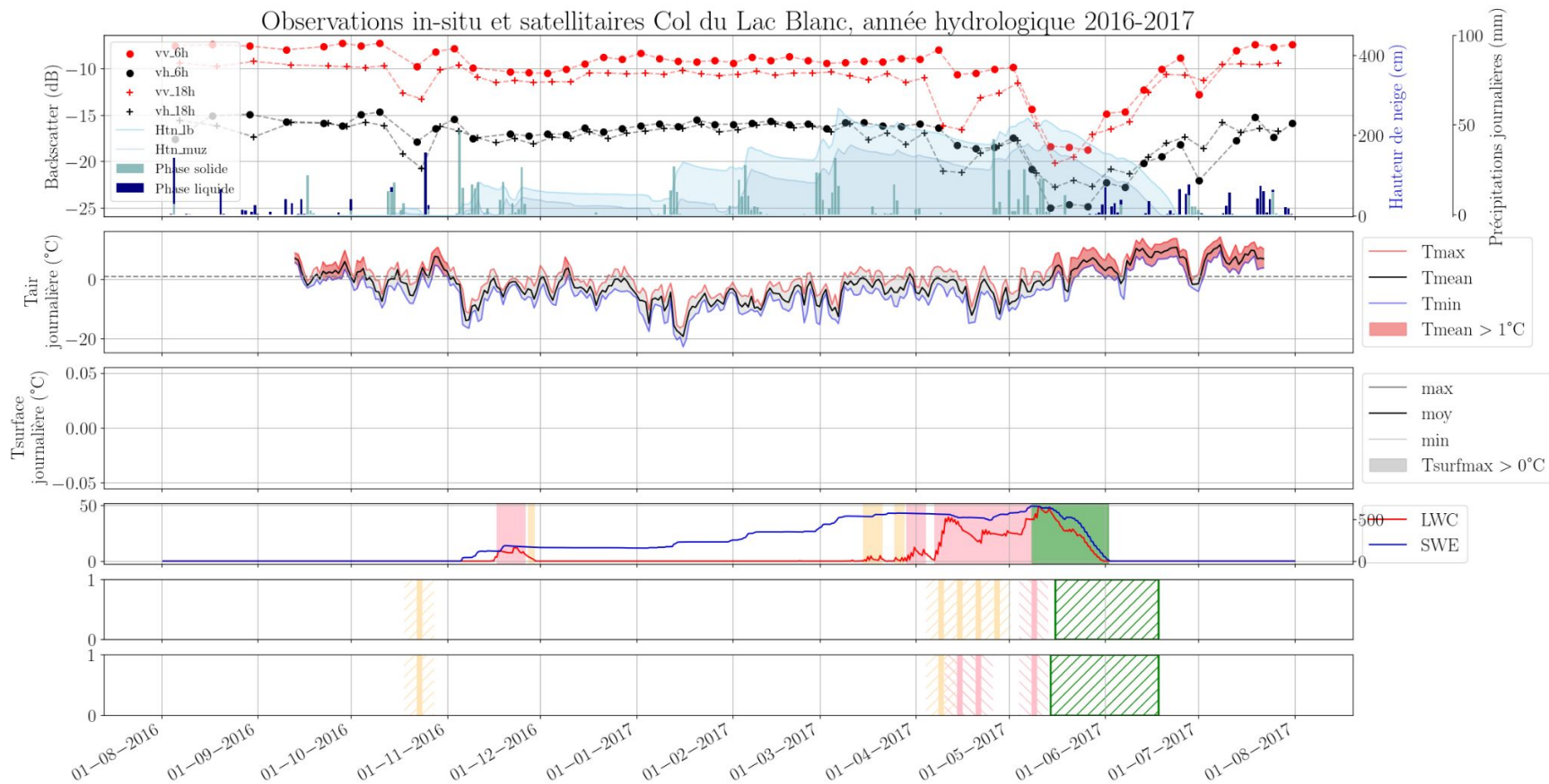


Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2023-2024



# 2016-2017

Observations in-situ et satellitaires Col du Lac Blanc, année hydrologique 2016-2017

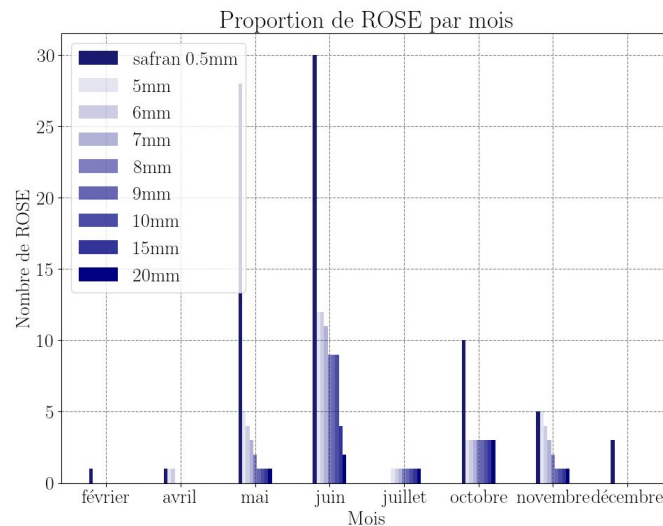
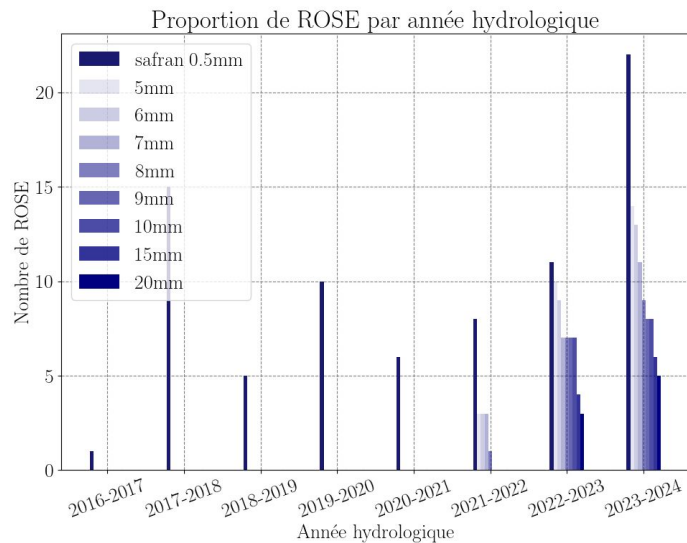


# Événements de pluie sur neige au CLB

Neige au sol: htn\_lb > 10 cm

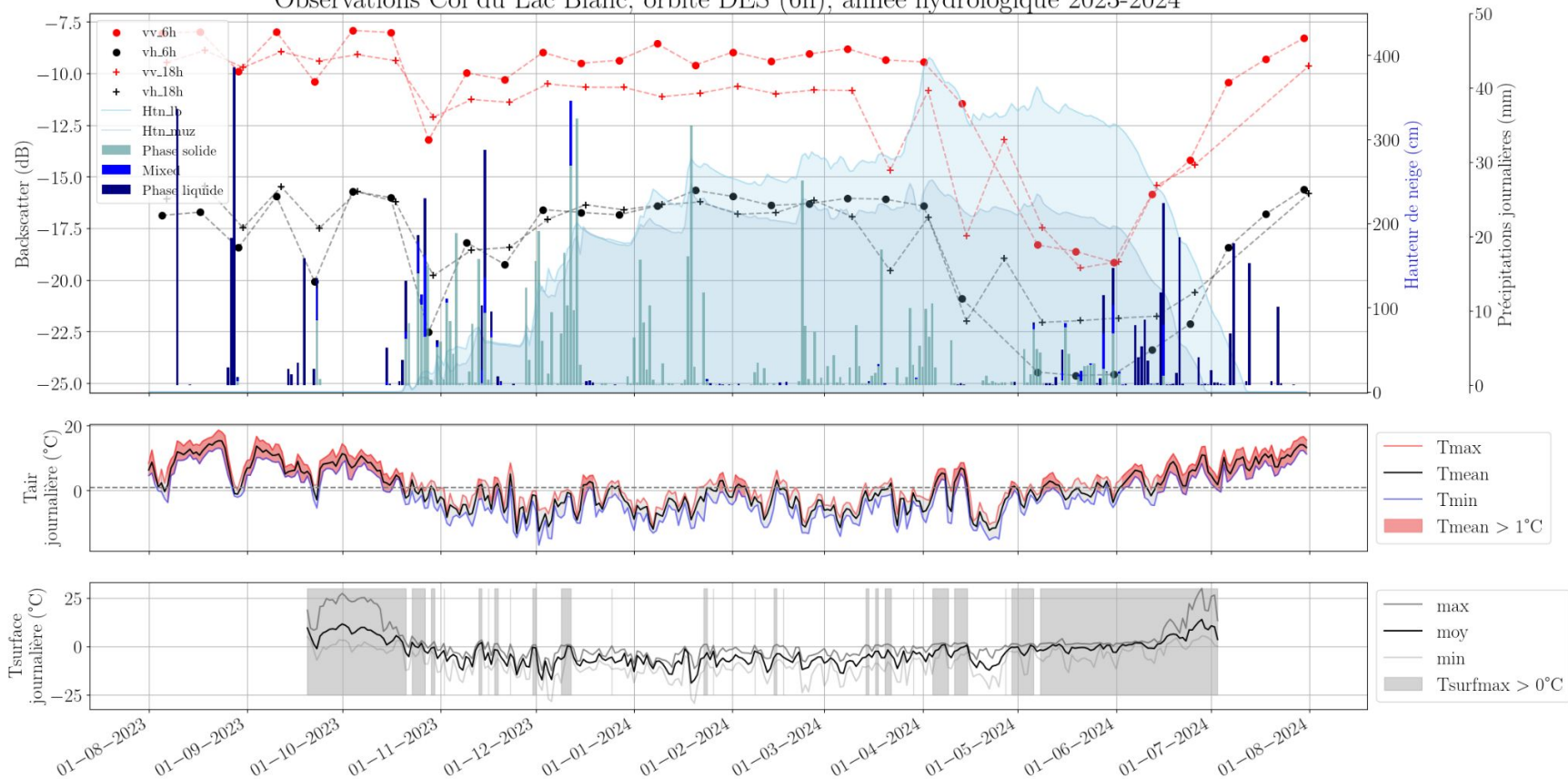
Température positive tair\_lb > 1 °C

Cumul géonor par jour > seuil

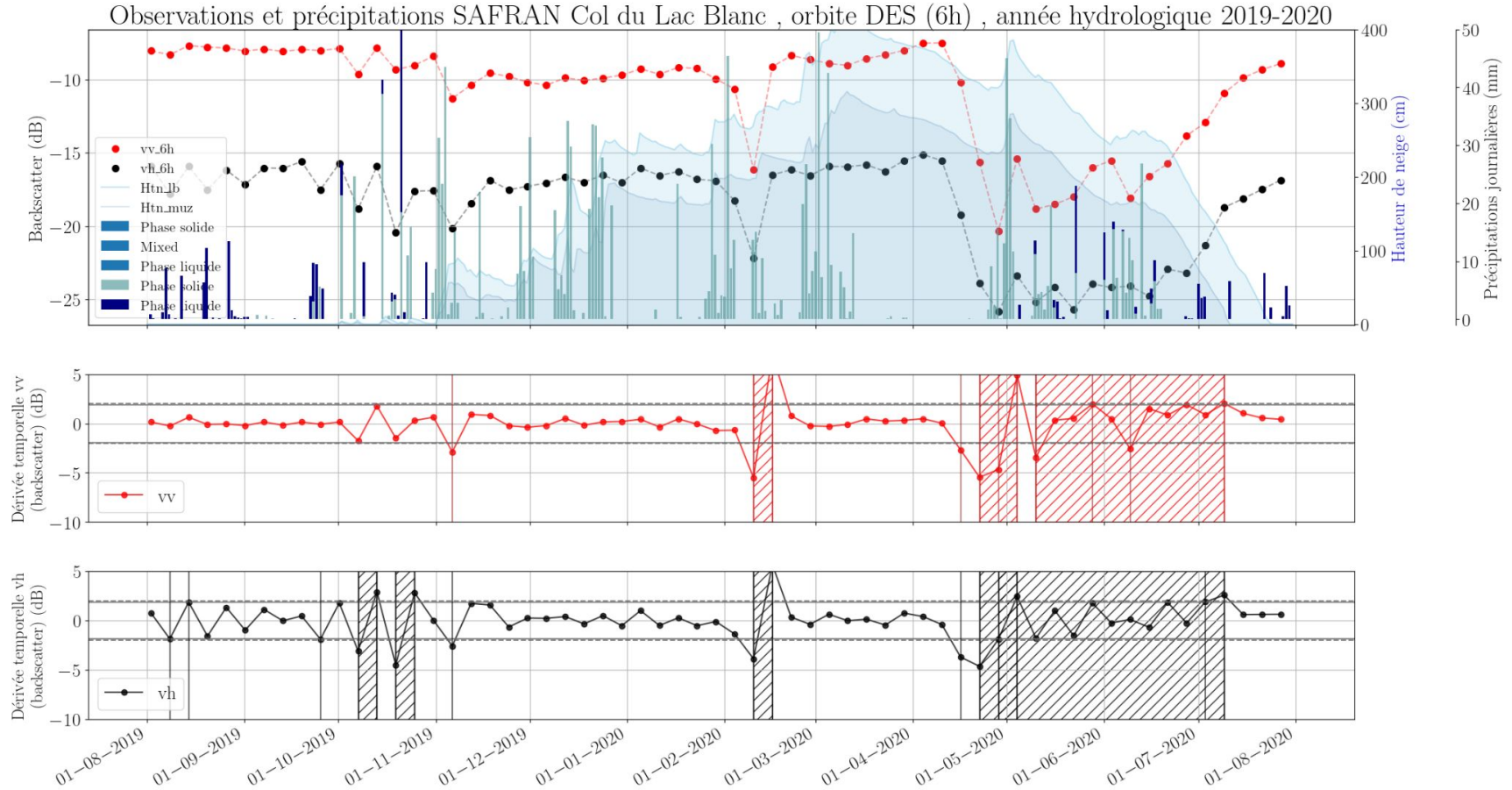


# Une année avec beaucoup de ROSE

Observations Col du Lac Blanc, orbite DES (6h), année hydrologique 2023-2024

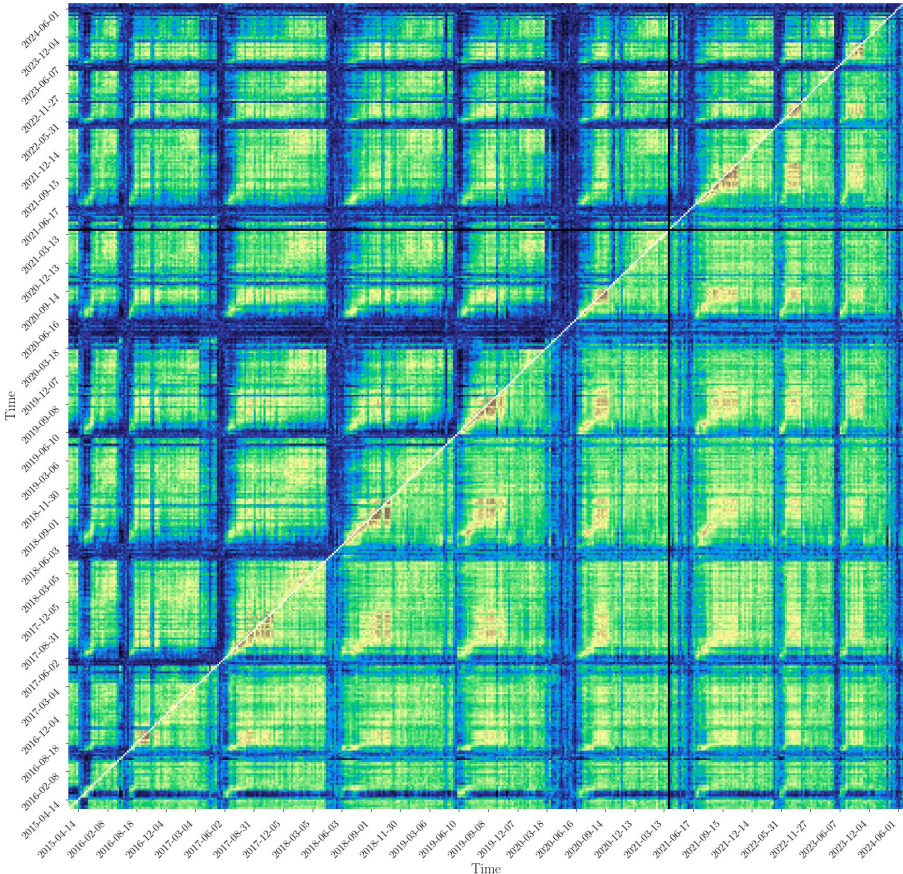


# Un exemple de Beltramone

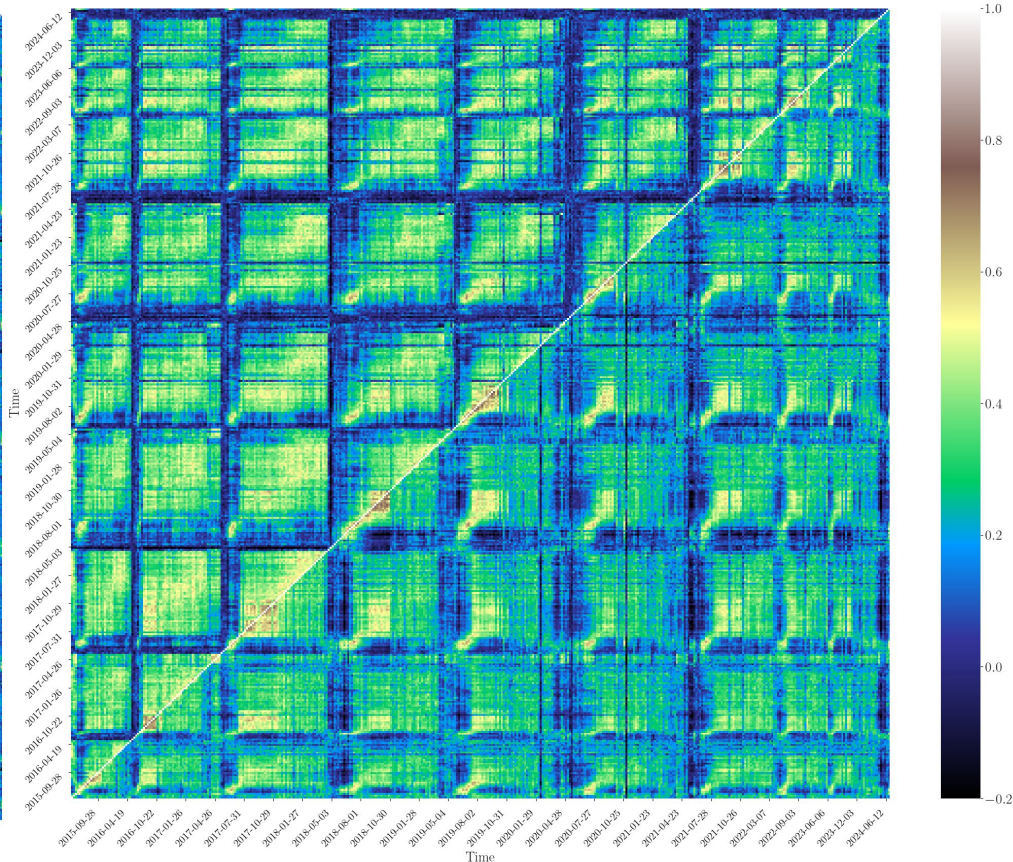


# Matrice de Corrélacion ASC - DES

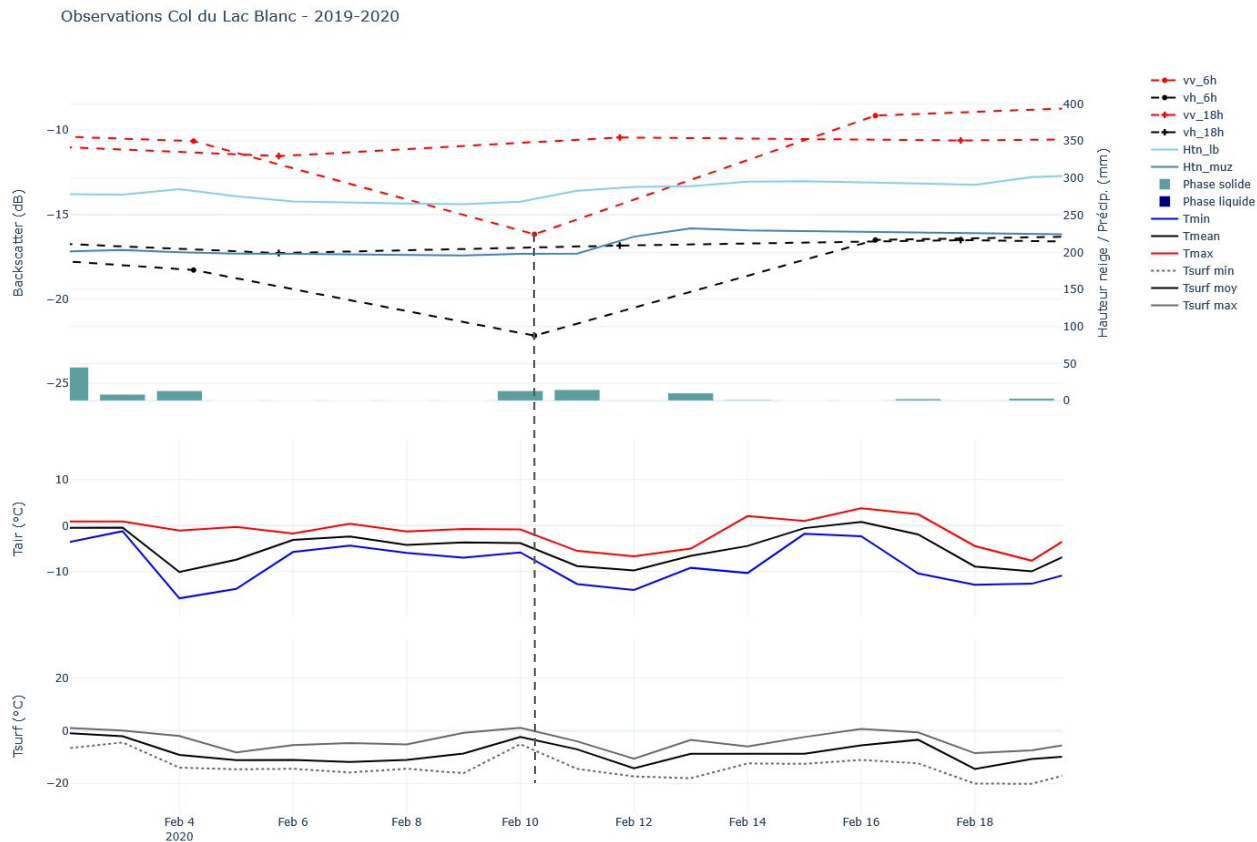
Correlation matrix on backscattering (Upper: VH, Lower: VV), ASCending orbit, on zone\_intermediaire



Correlation matrix on backscattering (Upper: VH, Lower: VV), DESending orbit, on zone\_intermediaire



# Variables météo au CLB du 06/02/2020 au 11/02/2020



Légère humidification  
avant le passage du  
satellite à 6h le 10/02

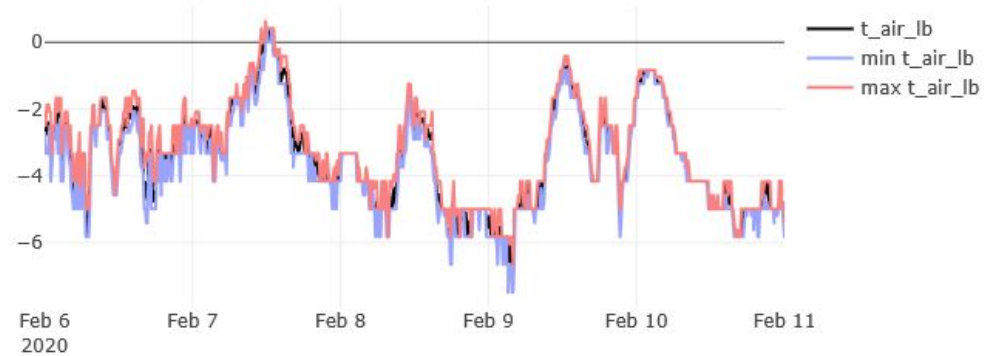
Chute de neige fraîche et  
chute des températures  
dans le journée du 10 et  
11

# Variables météo au CLB du 06/02/2020 au 11/02/2020

FF Muzelle et Lac Blanc



t air Lac Blanc



A dupliquer

---