



## Journées techniques « neige » du réseau Vigicruves

Aperçu (non exhaustif !) des expertises et apports possibles de la recherche vers l'opérationnel à travers quelques projets menés à l'Institut des Géosciences de l'Environnement

**B. Boudevillain, F. Cazenave, J. M. Cohard, T. Condom, C. Coulaud, G. Delrieu, M. Esteves, C. Obled, D. Six, D. Voisin, I. Zin**

Institut des Géosciences de l'Environnement, Grenoble, France

# Quelques travaux « alpins » (co)financés par le SCHAPI et/ou le SPC Alpes du Nord dans les dernières années ...

Thèse A. Claude (2011)

→ Développement d'un système hydro-météorologique intégré et prise en compte des aménagements hydro-électriques

Thèse E. Jabot (2012)

→ Etude de la fonte nivale à l'échelle ponctuelle et spatialisation des températures de l'air pour une modélisation degré-jours

M2 S. Froidurot (2016)

→ Identification de variables explicatives de la phase des précipitations



... d'autres projets de recherche collaboratifs très proches de l'opérationnel ...

Projet Arve (2015 – 2018) – *cf. aussi présentation Météo France*

Thèses G. Lecourt (2018) & A. Viani (2019)

→ Développement de modélisations hydro-glacio-nivo-météorologiques intégrées et analyses de sensibilité aux forçages météorologiques

Thèse Joseph Bellier (2018) – *cf. aussi présentation CNR*

→ Développement de méthodes de post-processing de prévisions d'ensemble dans un cadre multivarié

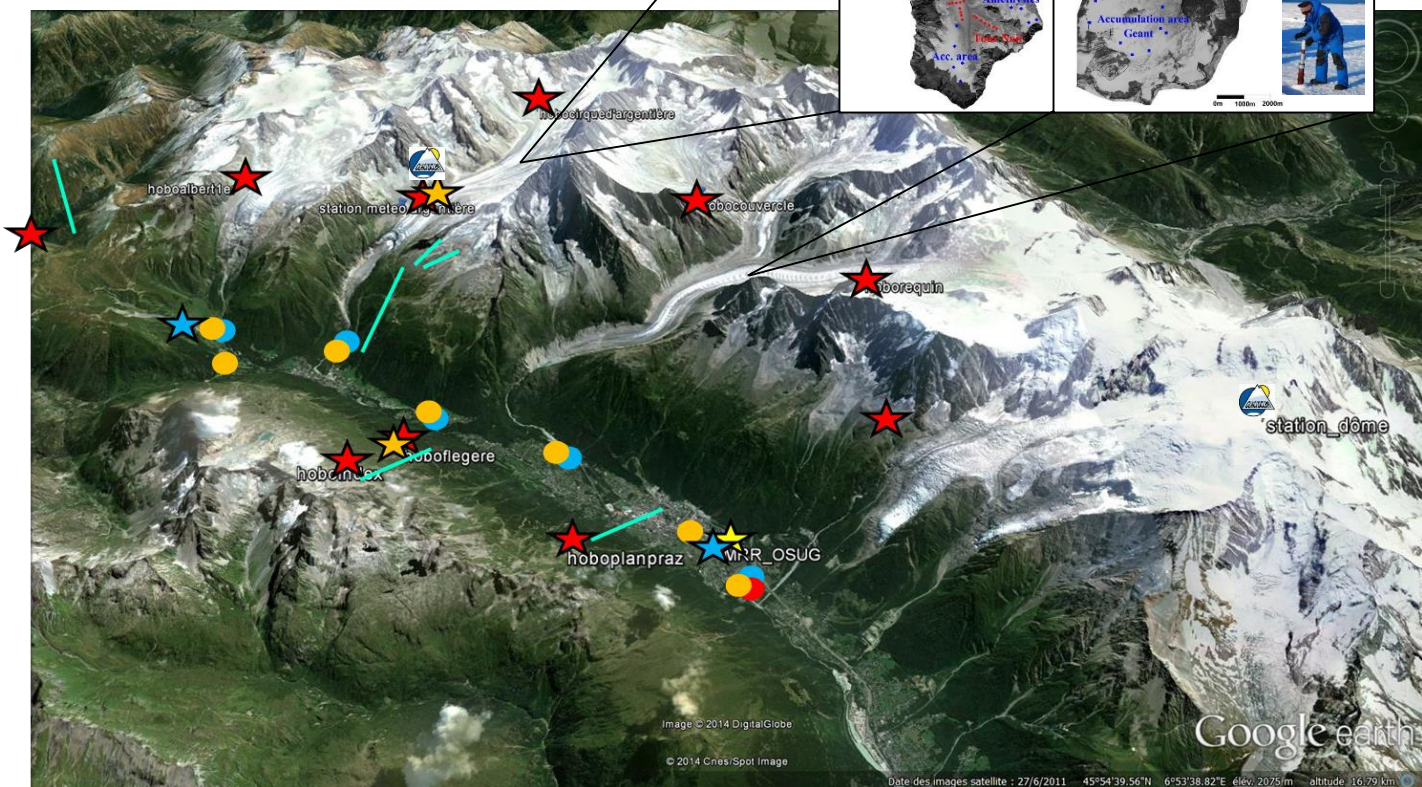
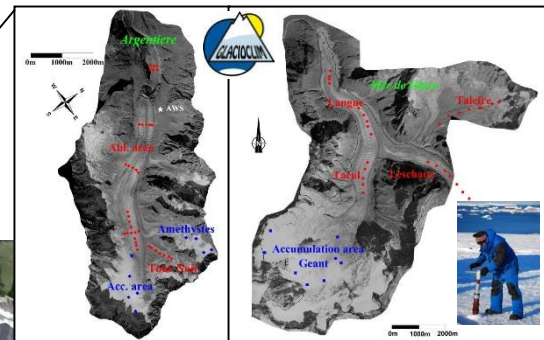
... et des questionnements scientifiques  
« amont » qui peuvent être valorisés en  
opérationnel via des collaborations

- Peut-on améliorer notre compréhension des processus atmosphériques et continentaux ?
- Comment/à quelle échelle représenter les champs atmosphériques ?
- Comment/à quelle échelle représenter les chemins de l'eau et les échanges sol/atmosphère ?
- Quelle est la contribution relative des différents processus aux hydrogrammes ?
- Quelles sont les situations météorologiques et les conditions de surface aggravantes ?
- Quelles est la prévisibilité des évènements ? Quelles sont les incertitudes tout au long de la chaîne ?

# Projet Arve (SM3A) - Densification du réseau instrumental

→ Réseau à la fin du projet :

- 12 pluviomètres (dont 2 télétransmis) en période d'été (en plus de ceux de Météo France)
- 4 transects de température
- 1 station hydro-sédimentaire



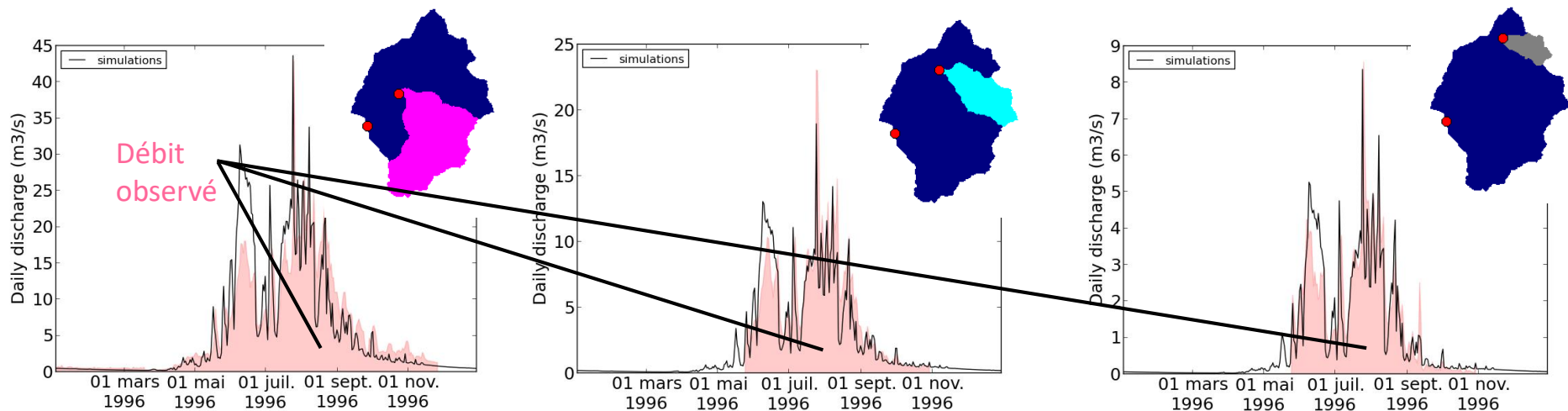
# 1. Situations météo & de surface génératrices de crues ?

- **Précipitations généralisées pendant 6-7 heures** au moins ou **précipitations intenses et plus localisées** survenant **sur des périodes plus courtes (3-4 heures)**, lorsque les sols ont été humidifiés par **2 ou 3 évènements précédant** celui en cours quelques jours auparavant.
- Températures moyennes journalières à Chamonix supérieures à 15 °C en moyenne sur la journée :
  - **limite pluie-neige ~ 3000-3300 m**
  - **> 85% de surface contributive (ou 45% de la surface glaciaire)**
- **Rôle généralement aggravant du manteau nival** (sauf en début de saison de fonte = effet tampon)



## 2. Mise en place d'un système de prévision

- Base de travail = chaîne SAFRAN-ISBA-CROCUS-MEPRA (Météo France) pour la prévision du risque d'avalanches
- Adaptation pour le risque de crue : prise en compte des glaciers, amélioration du transfert hydrologique
- Mode « simulation » semi-distribuée

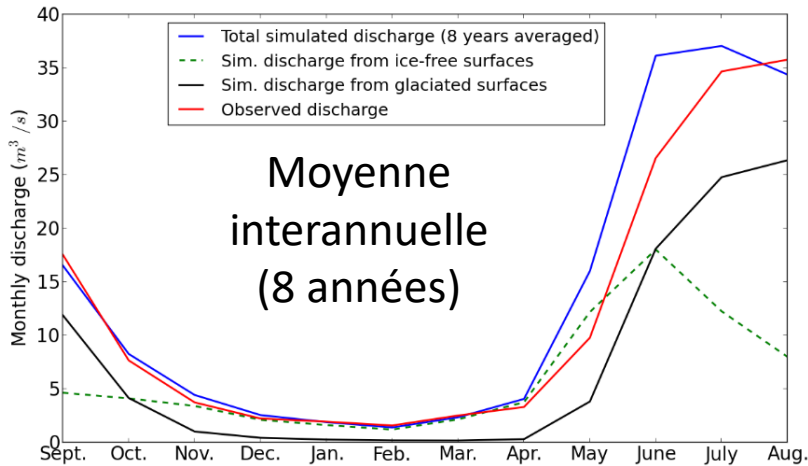


Thèse G. Lecourt (2018)



# 2. Rôle des glaciers ?

Arve - Pont des Favrans (Chamonix)

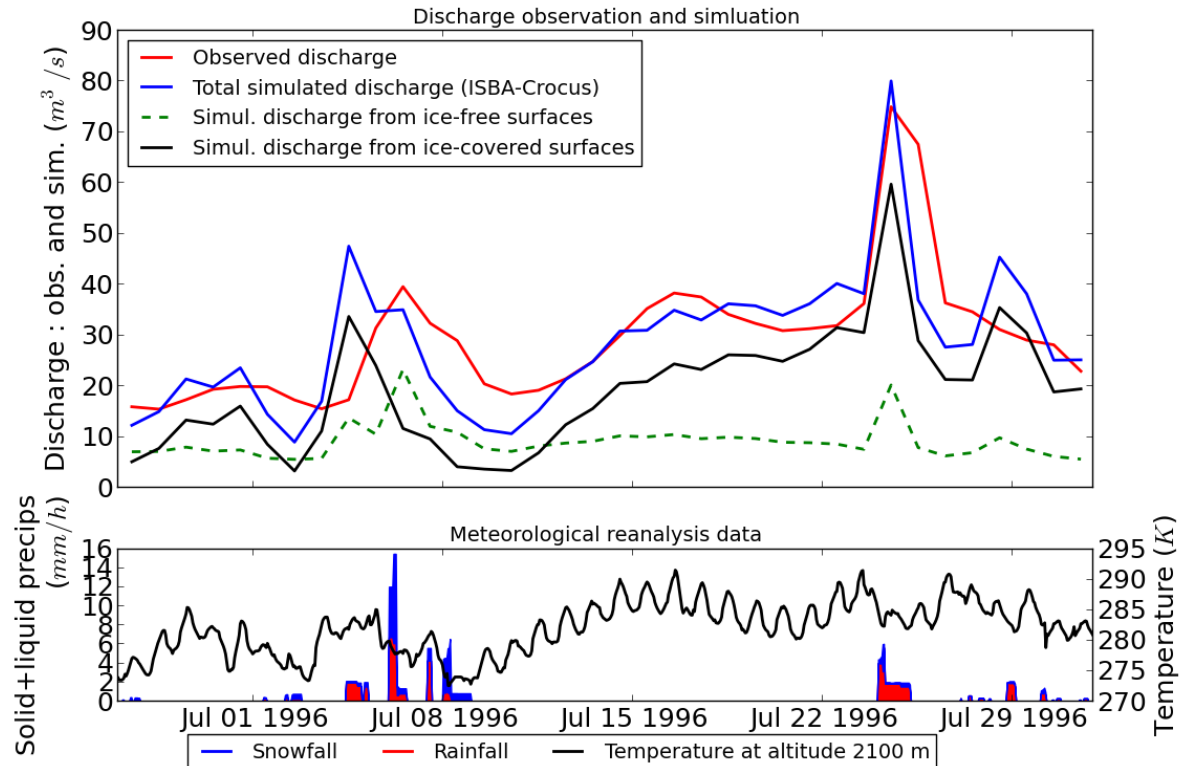


**A l'échelle annuelle, 56% [45-64%] du débit est produit par les surface englacées (33% de la surface totale)**

*Thèse G. Lecourt (2018)*

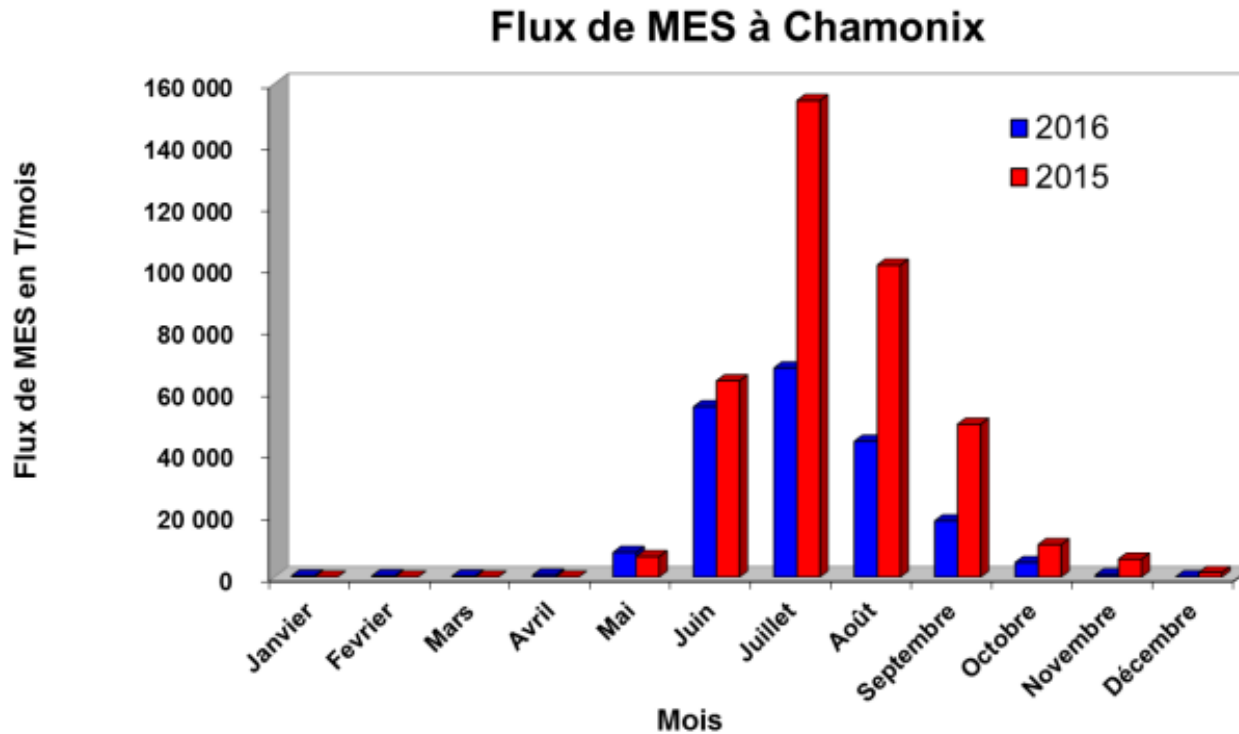
Arve - Pont des Favrans (Chamonix, France)

**Dans le cas d'évènements importants, jusqu'à 80% du volume est produit par les surfaces englacées (fonte + ruissellement)**





### 3. Quel transport sédimentaire associé ?



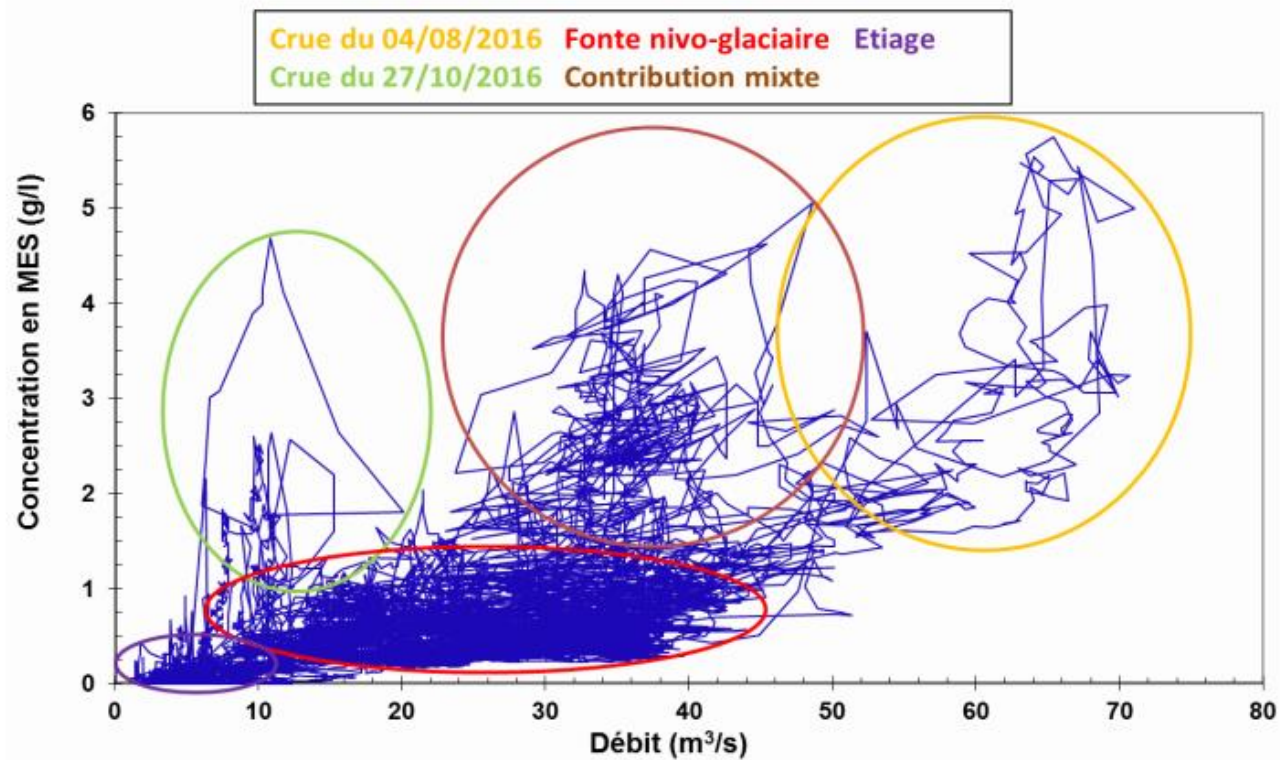
Esteves et al.

>80% du transport en saison de fonte (juin – août)

transport « de base » + transport associé à des événements de crue



### 3. Quel transport sédimentaire associé ?



**Signature différente selon l'origine des écoulements**  
(crues de fonte ou crues d'origine pluviale)

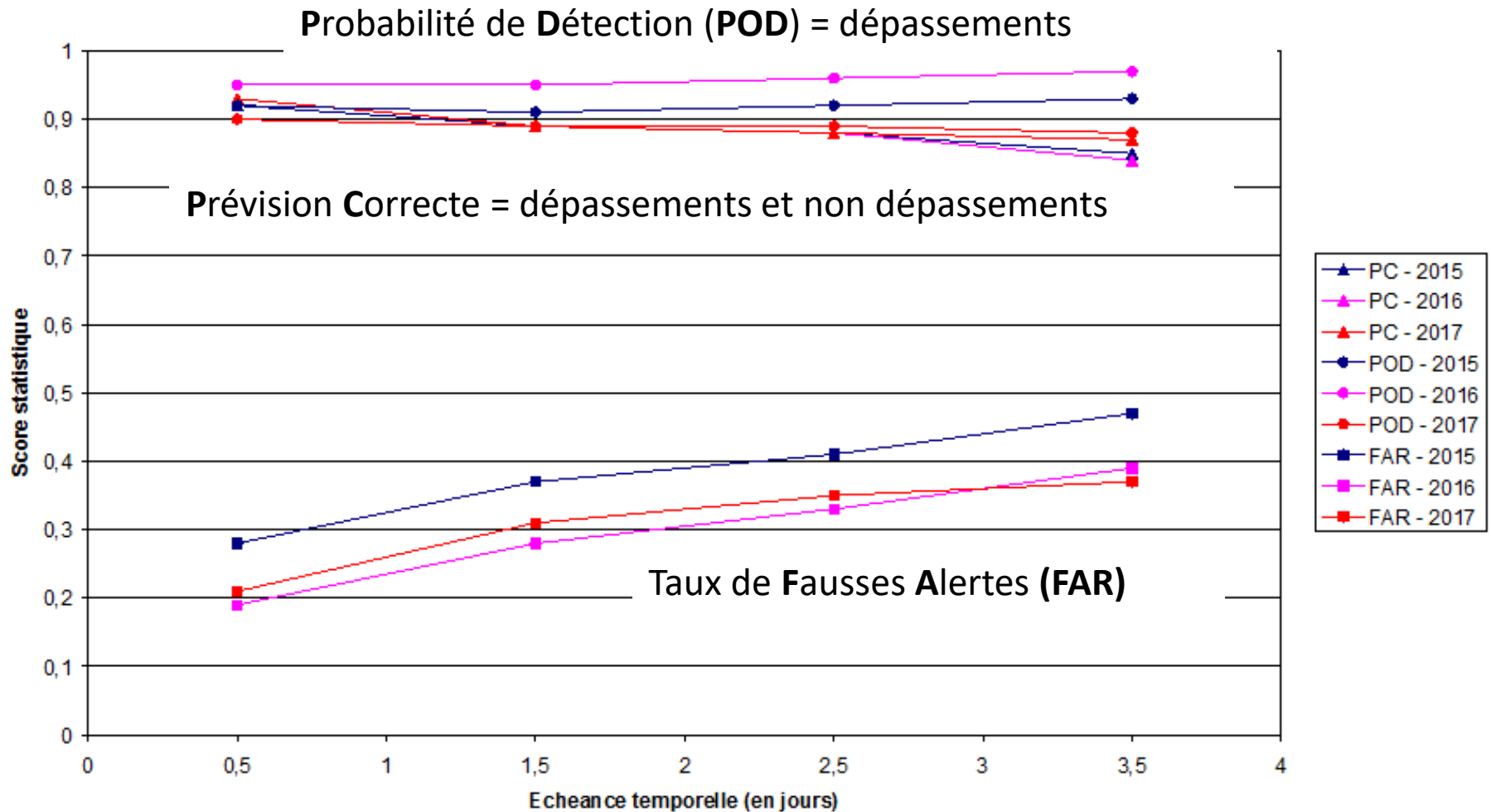
Esteves et al.



## 4. Prévisibilité des évènements ?

→ « Re-prévision » étés 2015, 2016, 2017

Statistiques de prévision, dépassement du seuil de 45 m<sup>3</sup>/s dans les simulations (sur la base de 30% des membres)



# Réflexion sur les modèles de fonte de neige

C. Obléd

- Les modèles de fonte de neige:

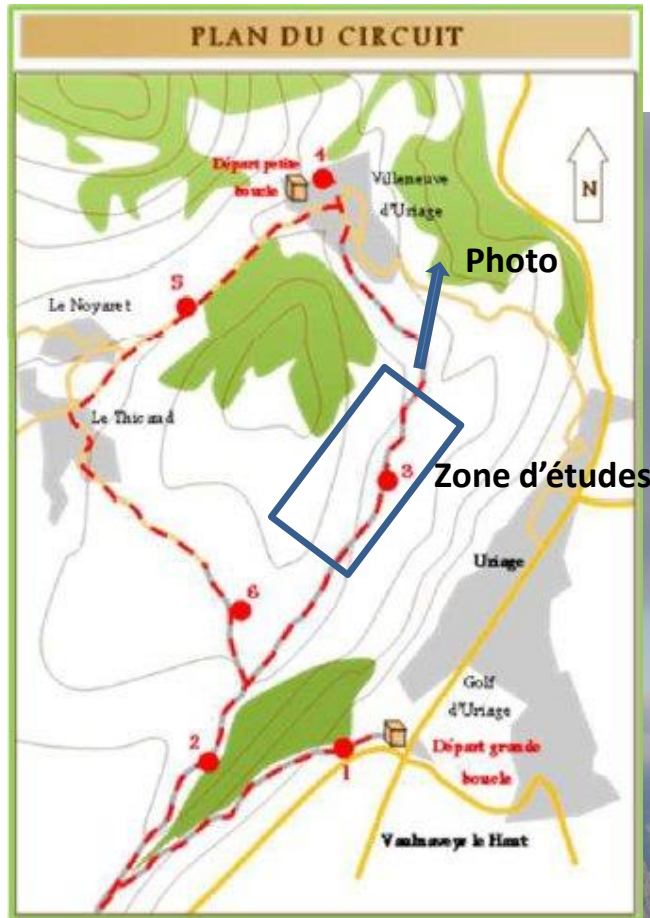
YATOU... ou YAPATOU...

En particulier, quid du ***transfert des lames de fonte?***

- Propose de l'examiner dans différents contextes:
  - Moyenne montagne
  - Montagne et Haute montagne

Avec des photos et avec différents marqueurs

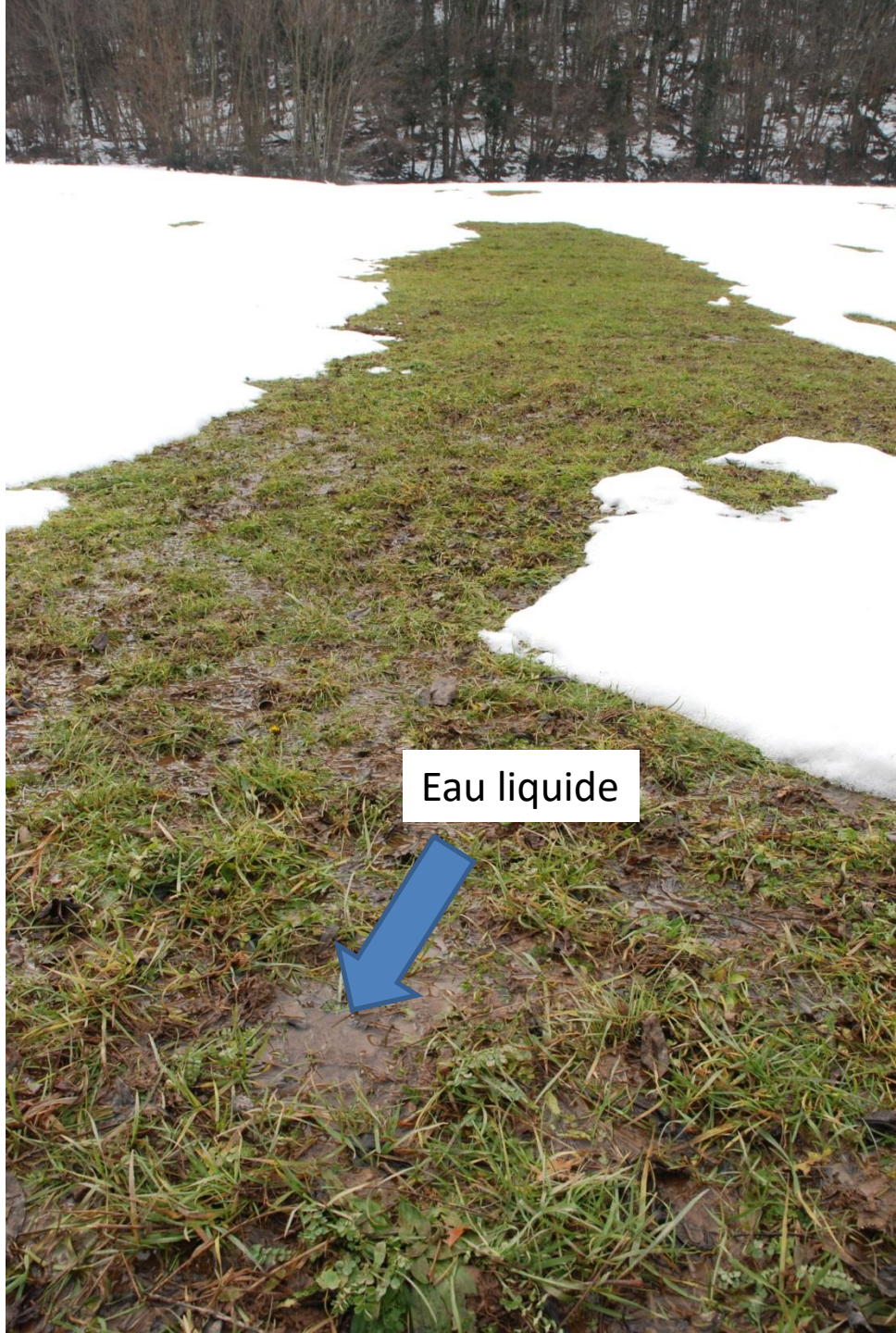
# Moyenne Montagne: au dessus de Villeneuve d'Uriage (~ 700m)



# Type de paysage, avec nombreuses taches sans neige







Eau liquide





Vasques d'eau liquide  
suintant du talus

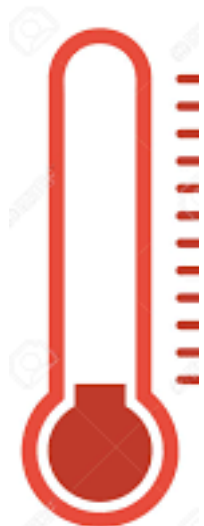


# Marqueur des Ecoulements:

## La température de l'eau

Avant de partir:

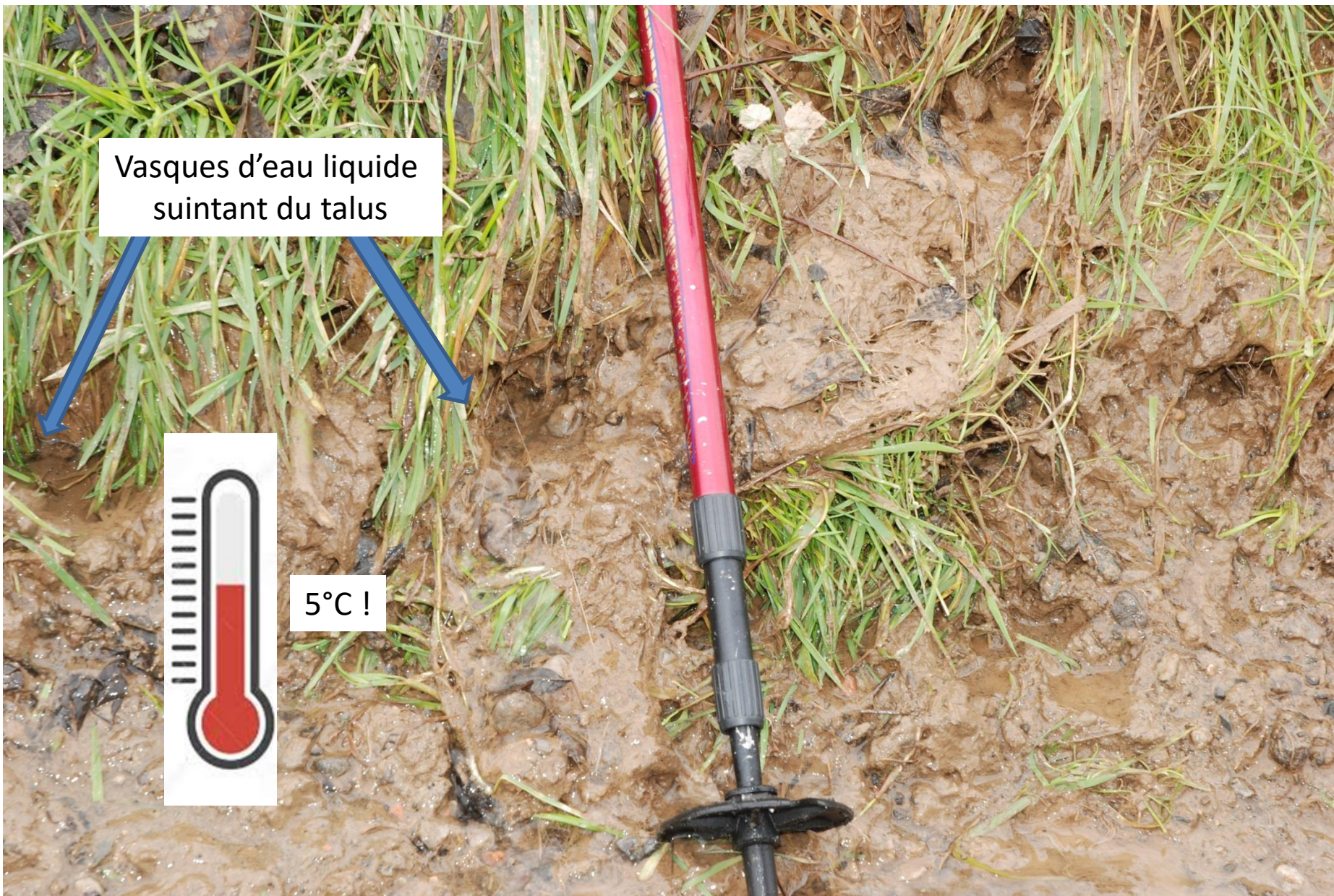
- J'ai pris un thermomètre et,
- au lavoir communal
  - Eau de fonte coulant du toit en tôle: **0°C**
  - Eau coulant de la source: **9-10 °C**



Vasques d'eau liquide  
suintant du talus

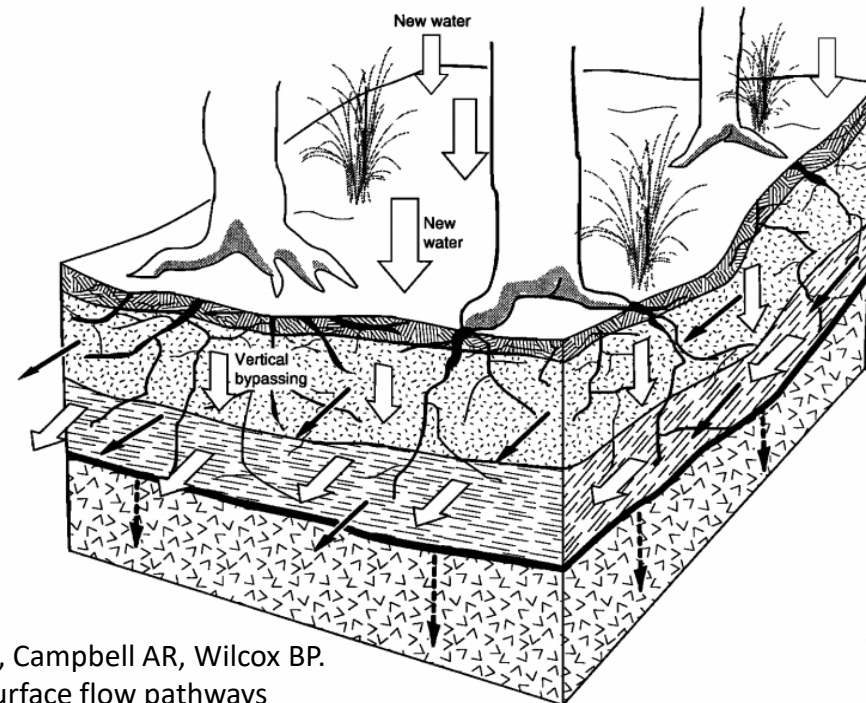


5°C !



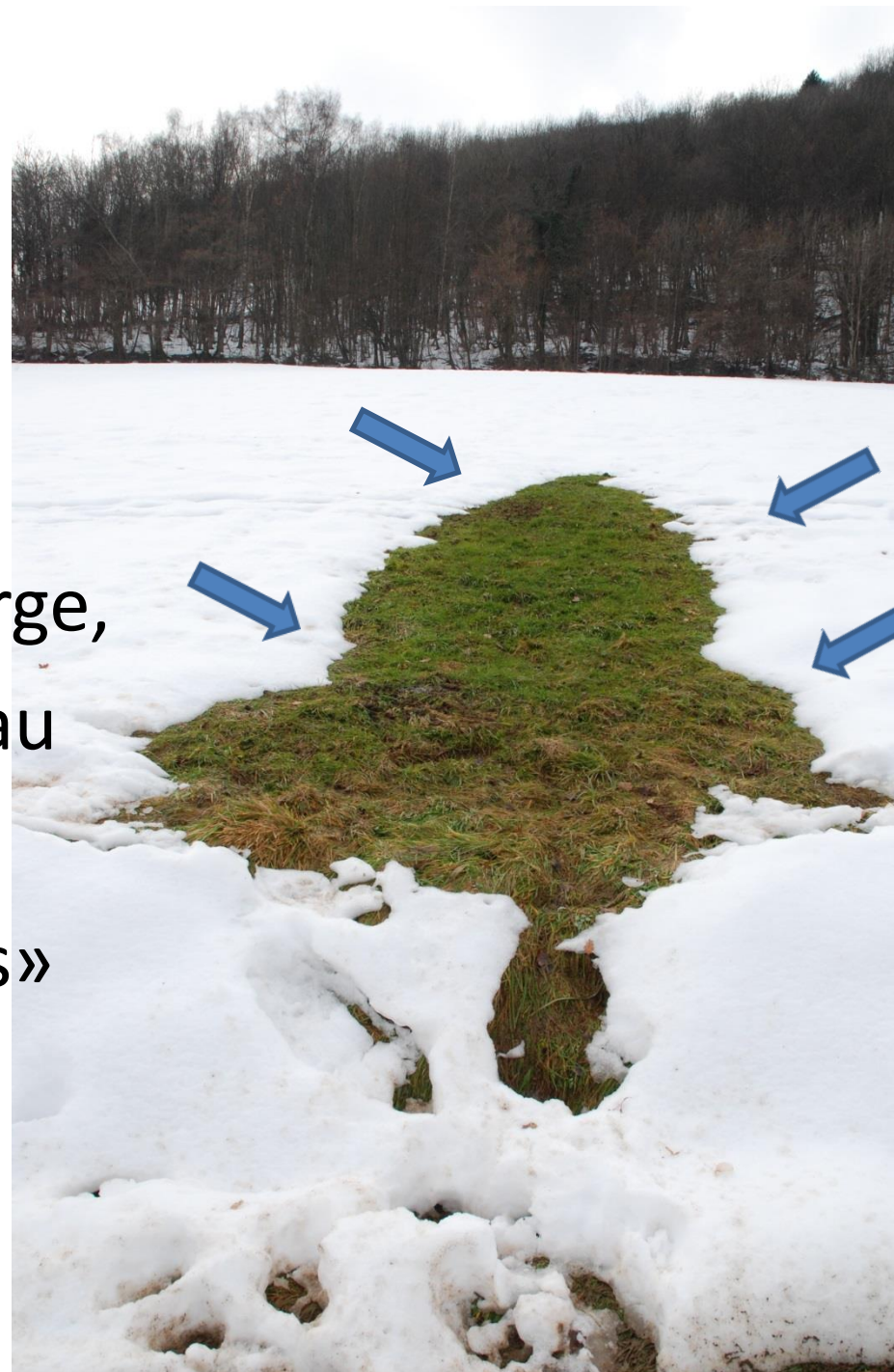
# Hypothèses de fonctionnement

- Eau de fonte de neige (à 0°C) percole dans le sol
- rejoint, et se mélange avec, une nappe superficielle (d'où une température > 0°C)
- puis suinte au niveau du talus qui coupe le versant



Newman BD, Campbell AR, Wilcox BP.  
Lateral subsurface flow pathways  
Water Res. Research 34(12) - 1998.

- Mais en présence d'un léger talweg
- l'eau plus chaude re-émerge, exfiltre, sous le manteau
- provoquant ces « taches » de fusion « par-dessous »



# Montagne et Haute montagne

- Présence de bedrock et d'amas rocheux
- Marqueur des Ecoulements:

la **présence de glace**

*(les sorties d'eau sont figées par le gel)*

# Belledonne:







# Queyras : Vars



# Queyras : Vars



# Haute Montagne : Dischma Davos



- Marqueur utilisé:  
**Tritium**

## Conclusion :

The fraction of groundwater in the total discharge, determined from the tritium concentrations, is on an average over the whole snowmelt season approximately **60%**

# Conclusions

- fonte de neige : processus peu intense (qq mm/h),
- amorti encore par la percolation dans le manteau
- donc assez peu propice au ruissellement direct...
  
- Cette eau de fonte s'infiltré majoritairement,  
et alimente des nappes superficielles ou profondes
- qui à leur tour alimentent les torrents...

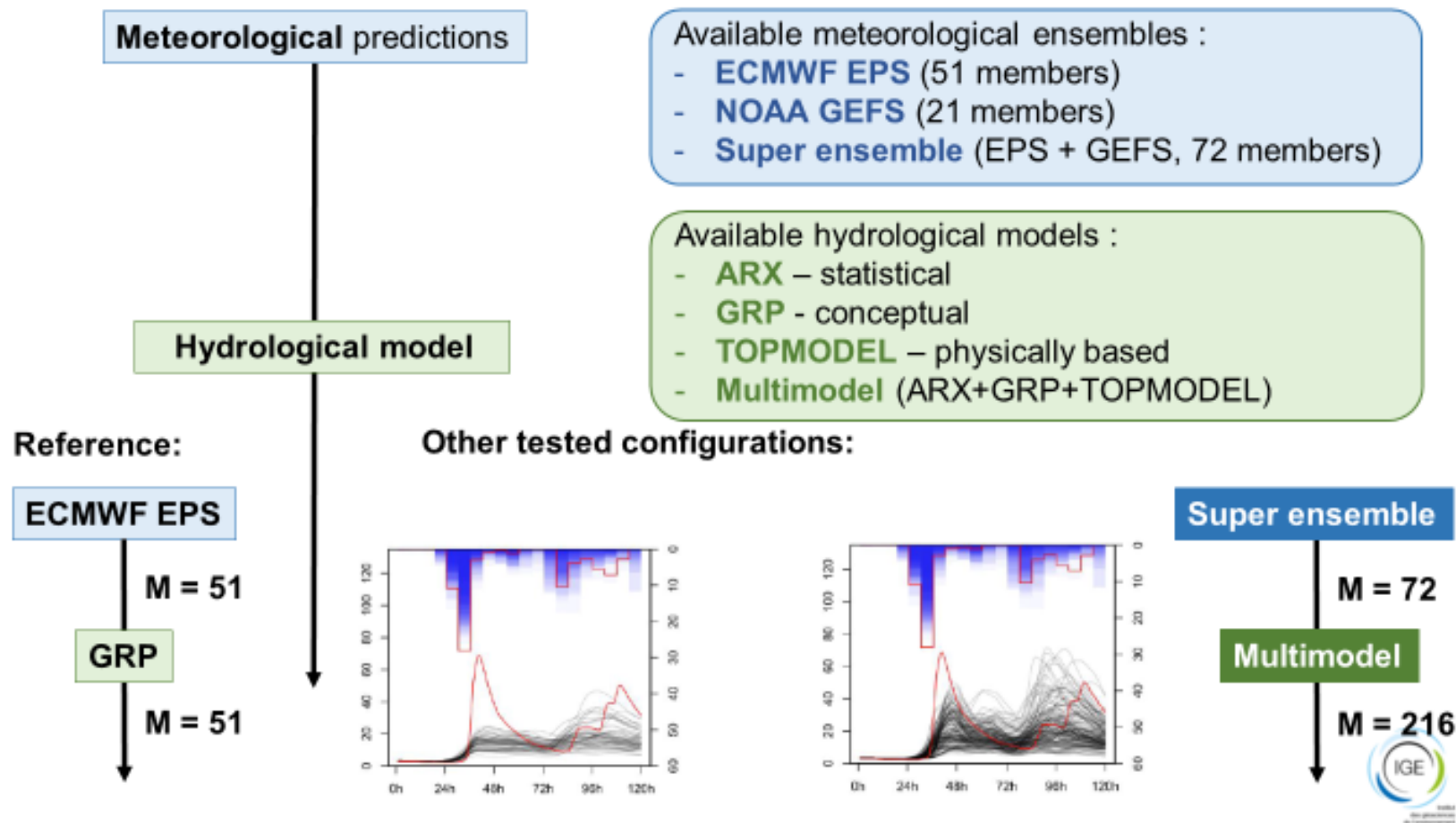
# Conclusions

- Qq exceptions cependant:  
neige avec strate de glace, sol gelé, etc...

Mais surtout:

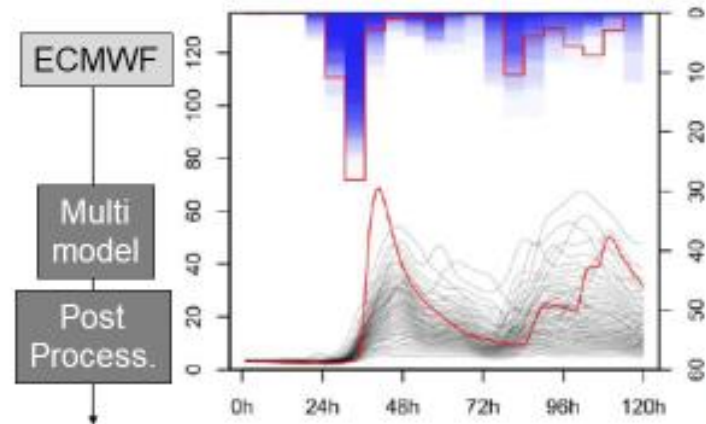
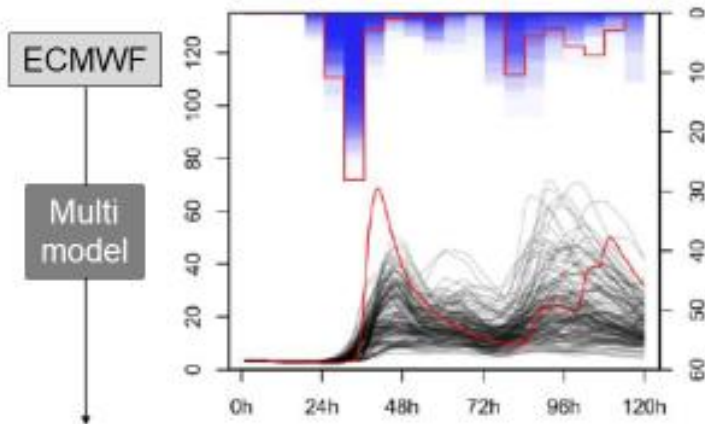
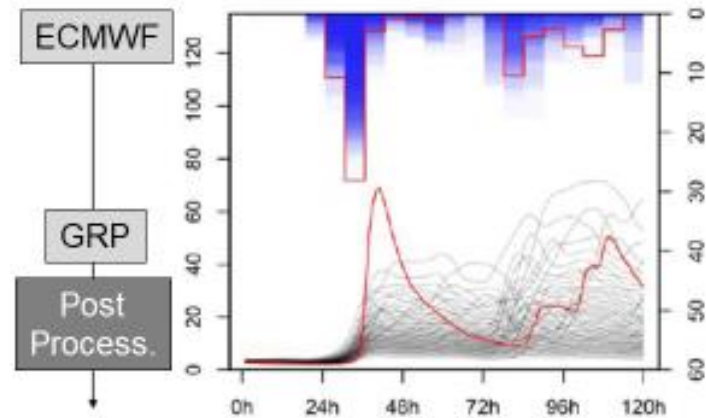
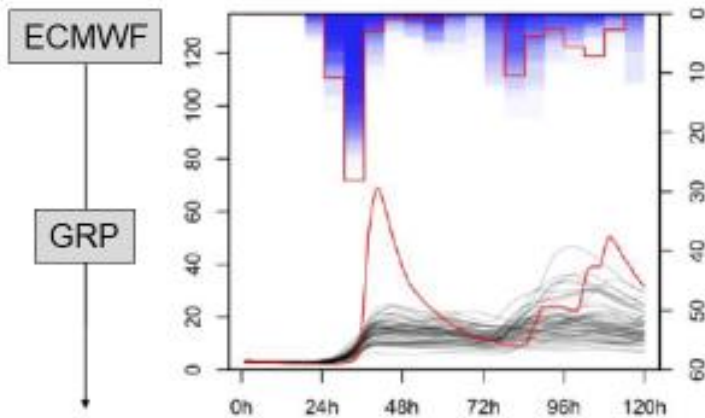
Comment représenter cela dans les modèles,  
et notamment décrire la pédologie sous jacente?

# Hydrological ensemble forecasts on the upper Rhône



Bellier et al. 2018

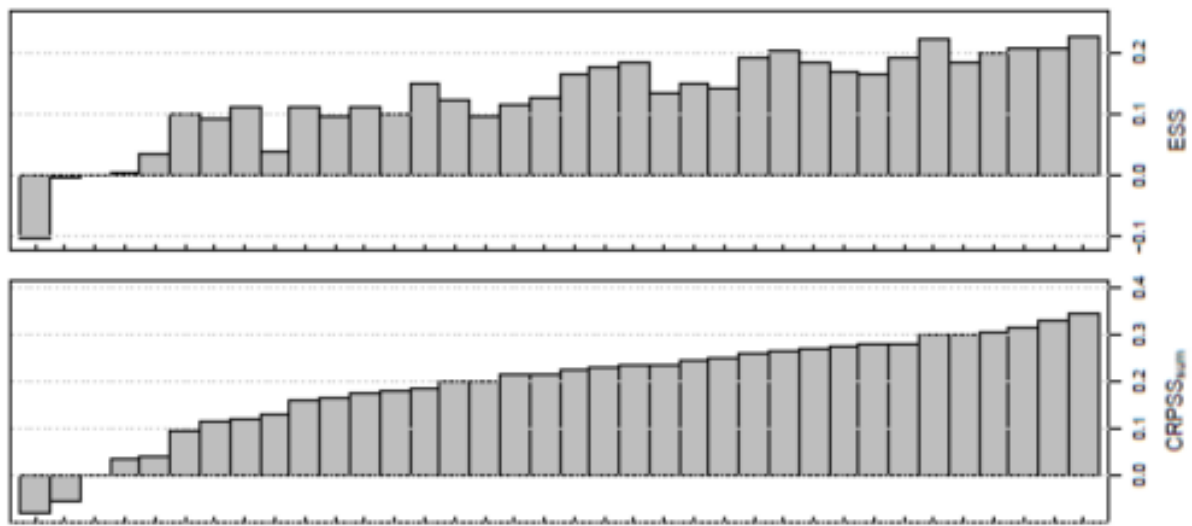
# Multi-model or post-processing?



Bellier et al. 2018



# What is the relative contribution of each processing?



Post-processing  
 Hydrological model  
 Pre-processing  
 Meteorological ensemble

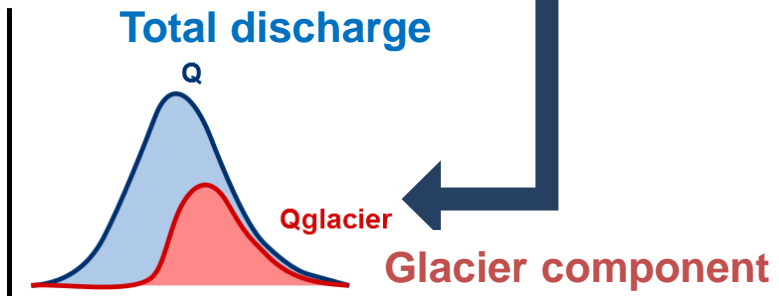
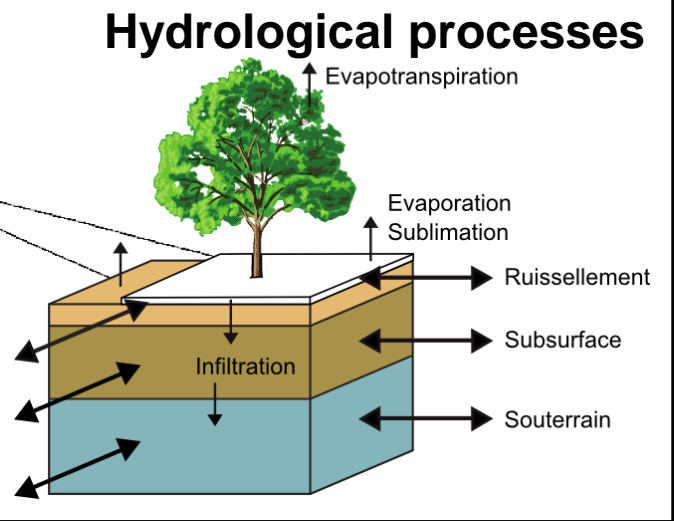
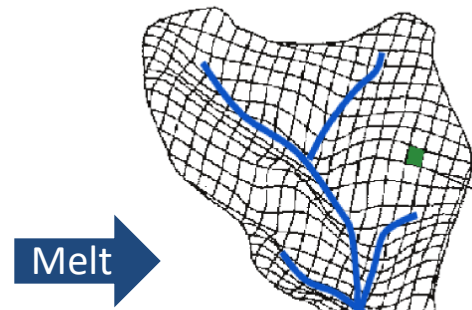
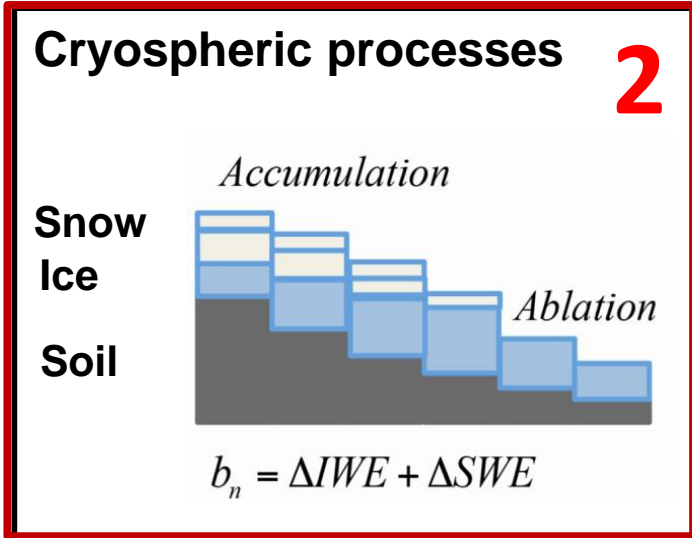
- GEFS -- GRP --
- GEFS -- EMO3 rdm -- GRP --
- ECMWF -- GRP --
- GEFS -- EMO3 ECC -- GRP --
- grand ens. --
- ECMWF -- EMO3 rdm -- GRP --
- GEFS -- EMO3 rdm -- mult mod. --
- grand ens. -- EMO3 rdm -- GRP --
- GEFS -- -- mult mod. --
- GEFS -- EMO3 rdm -- GRP -- BMA ECC
- GEFS -- EMO3 ECC -- mult mod. --
- ECMWF -- EMO3 ECC -- GRP --
- ECMWF -- -- mult mod. --
- GEFS -- EMO3 rdm -- mult mod. -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 ECC -- GRP --
- GEFS -- GRP -- BMA ECC
- GEFS -- EMO3 ECC -- GRP -- BMA ECC
- grand ens. -- -- mult mod. --
- ECMWF -- EMO3 rdm -- GRP -- BMA ECC
- ECMWF -- EMO3 rdm -- mult mod. --
- grand ens. -- EMO3 rdm -- GRP -- BMA ECC
- GEFS -- -- mult mod. -- BMA ECC
- GEFS -- EMO3 ECC -- mult mod. -- BMA ECC
- ECMWF -- GRP -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 rdm -- mult mod. --
- ECMWF -- EMO3 rdm -- mult mod. -- BMA ECC
- ECMWF -- EMO3 ECC -- mult mod. --
- ECMWF -- EMO3 ECC -- GRP -- BMA ECC
- grand ens. -- -- GRP -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 ECC -- GRP -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 rdm -- mult mod. -- BMA ECC
- ECMWF -- -- mult mod. -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 ECC -- mult mod. --
- ECMWF -- EMO3 ECC -- mult mod. -- BMA ECC
- grand ens. -- -- mult mod. -- BMA ECC
- grand ens. -- EMO3 ECC -- mult mod. -- BMA ECC

Reference

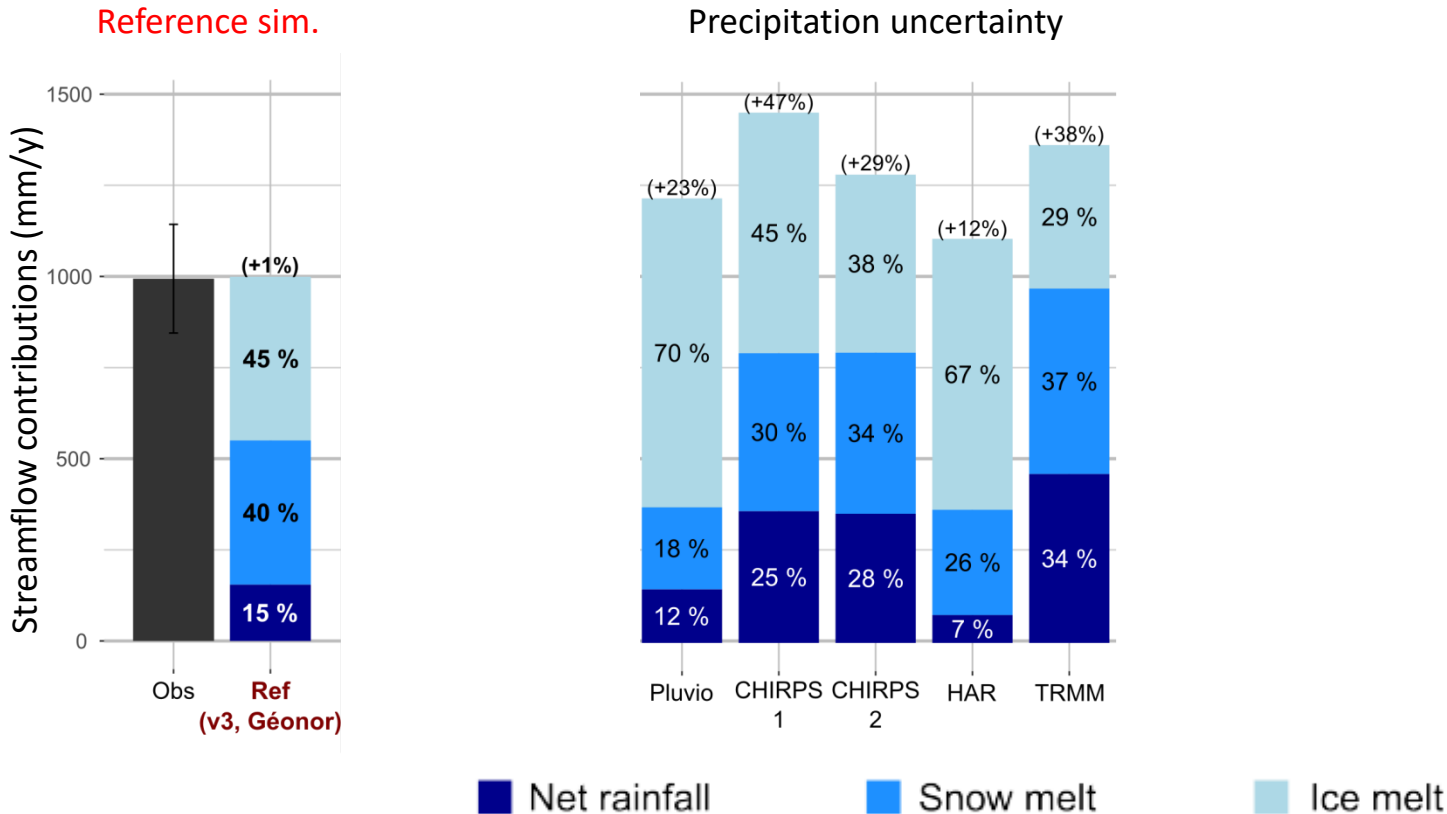
Bellier et al. 2018



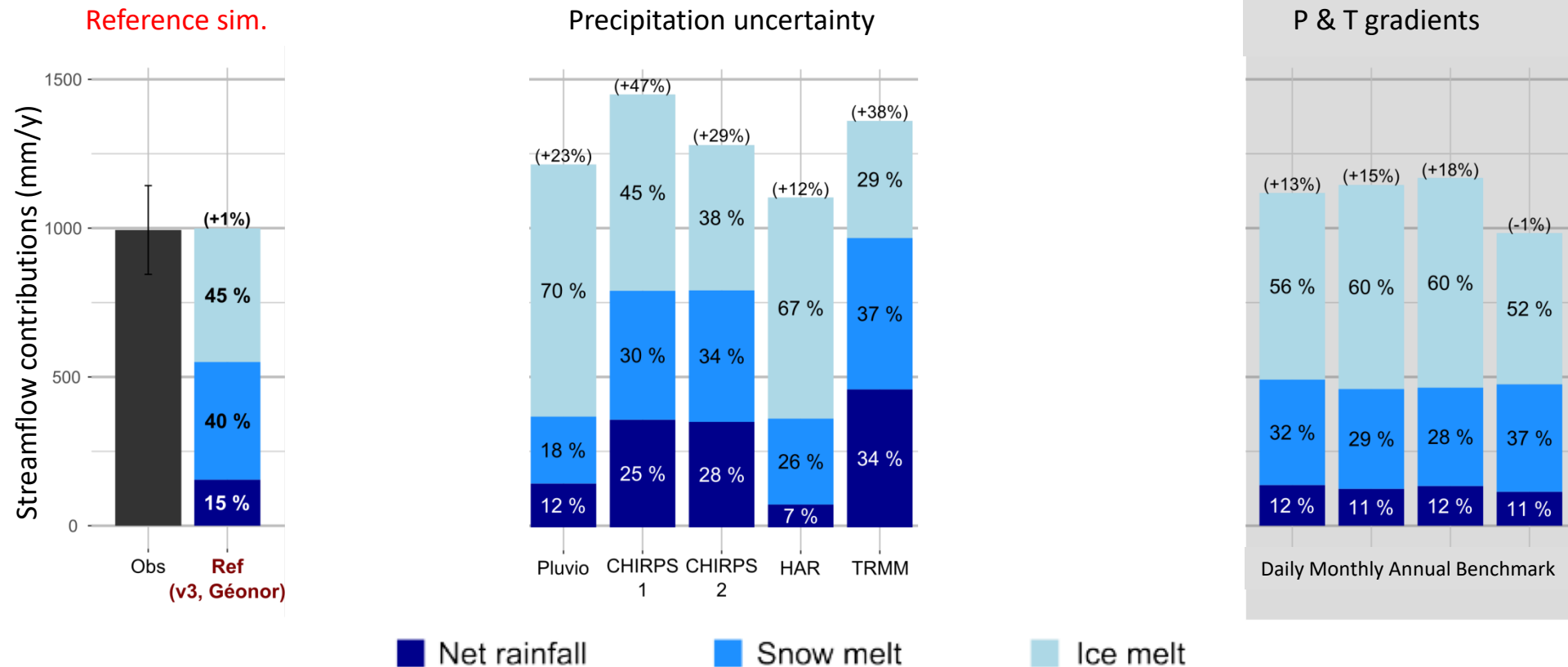
# DHSVM-GDM (Distributed Hydrology Soil Vegetation Model - Glacier Dynamics Model)



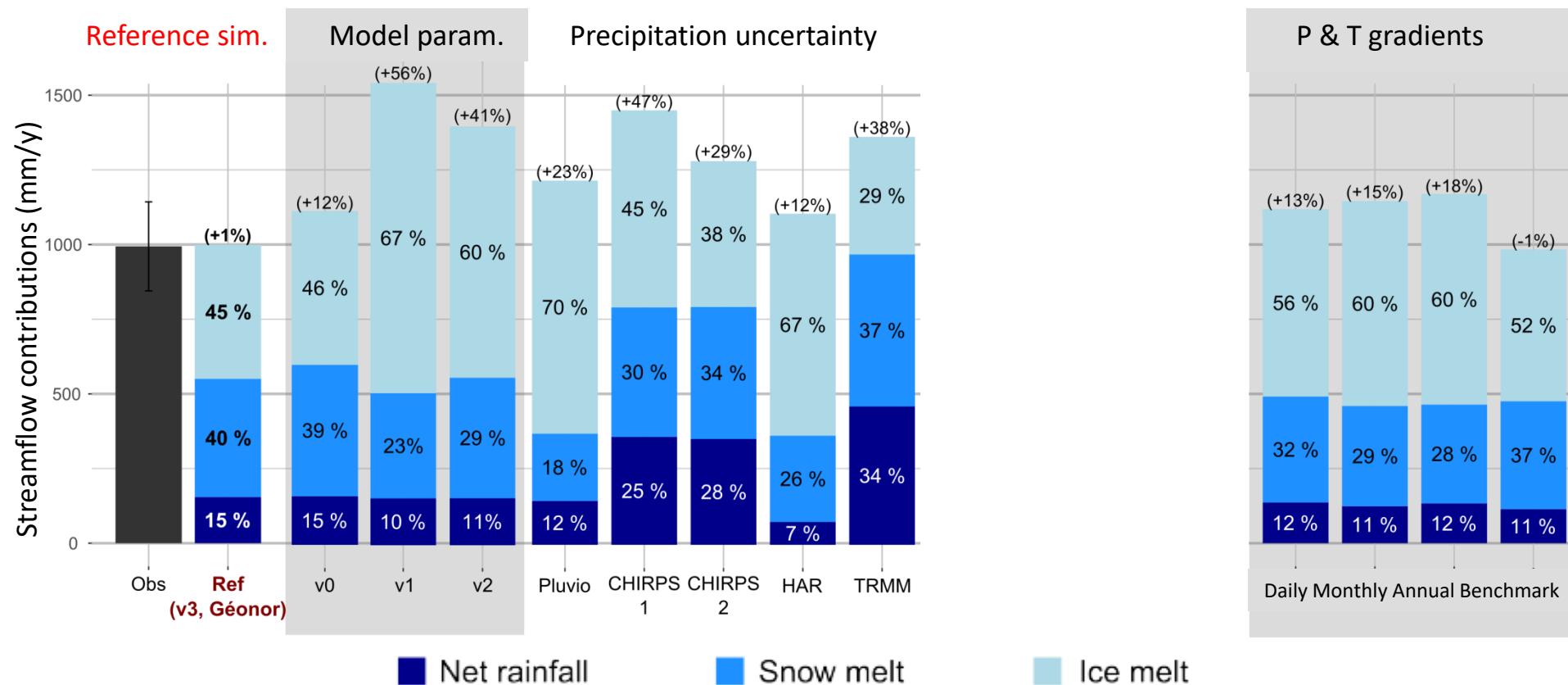
- Analysis of the main sources of uncertainty and their impacts on the simulated contributions to outflow



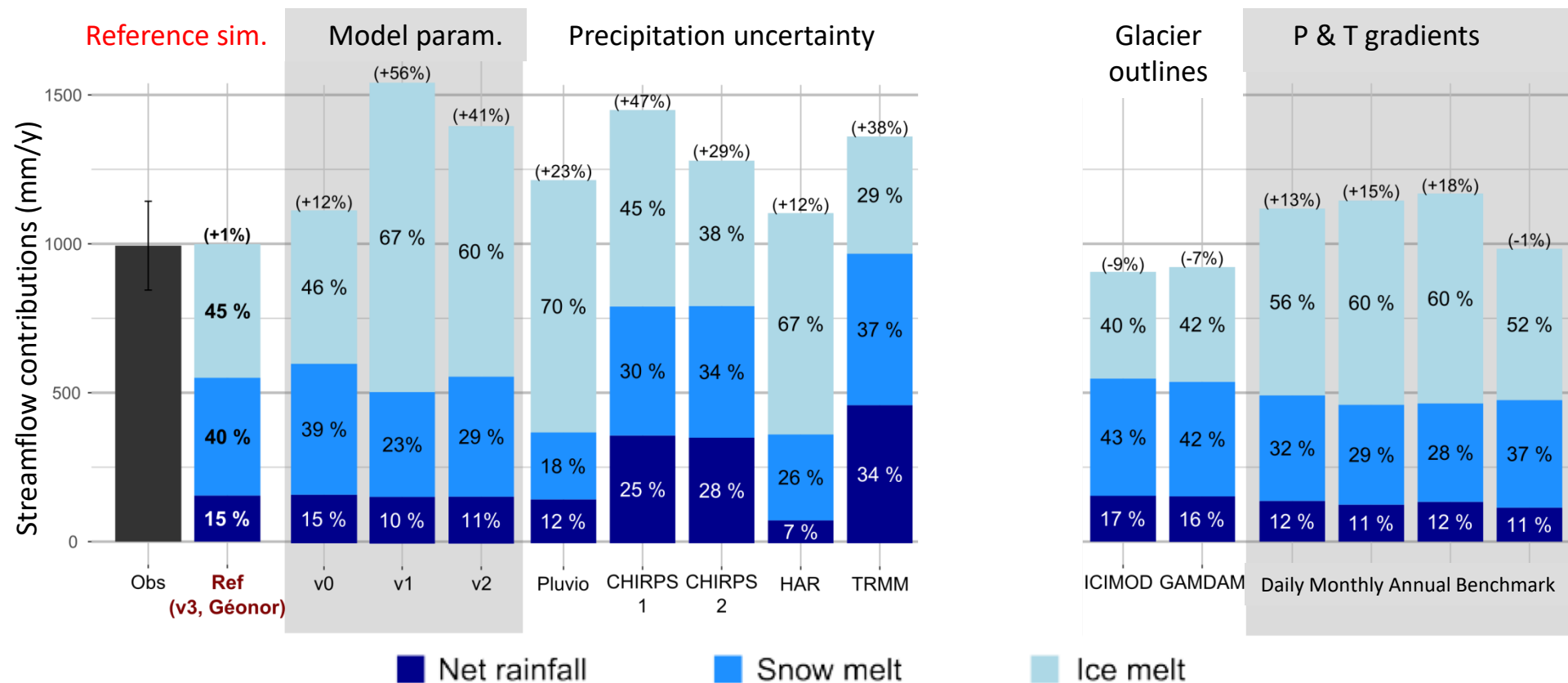
➤ Analysis of the main sources of uncertainty and their impacts on the simulated contributions to outflow



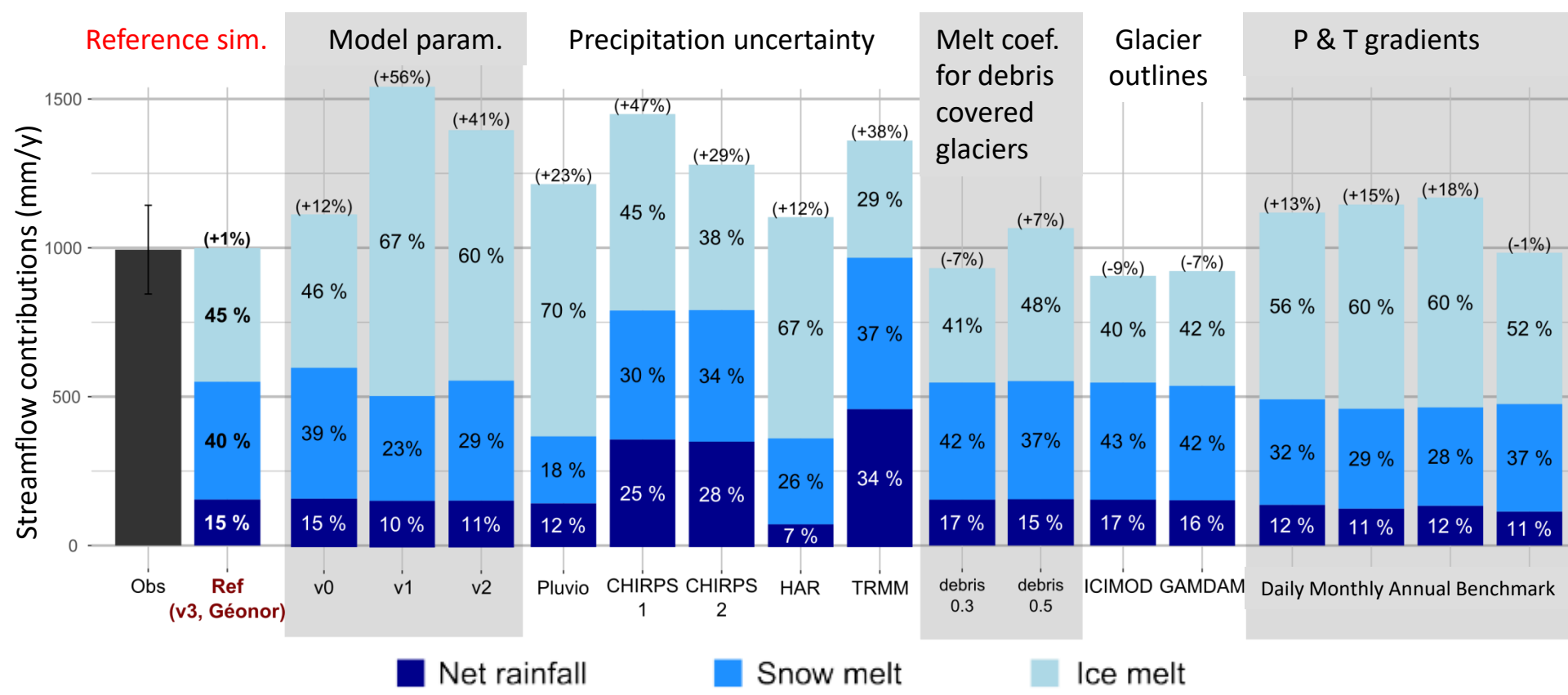
➤ Analysis of the main sources of uncertainty and their impacts on the simulated contributions to outflow



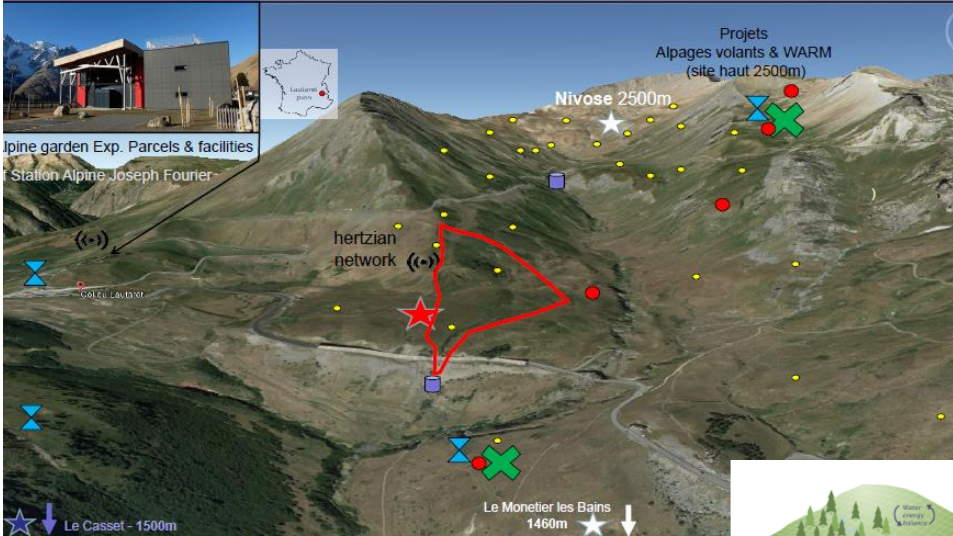
➤ Analysis of the main sources of uncertainty and their impacts on the simulated contributions to outflow



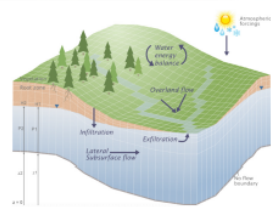
➤ Analysis of the main sources of uncertainty and their impacts on the simulated contributions to outflow



# I- Lautaret pass - SAJF: a multidisciplinary mountain observatory

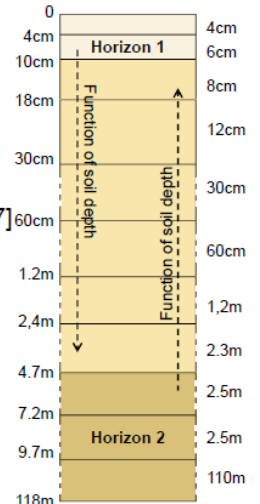
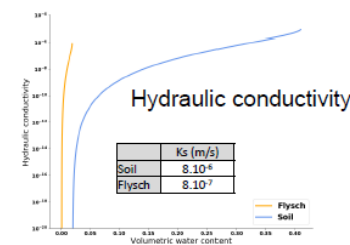
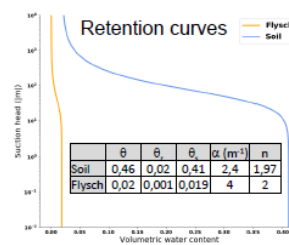


- ORCHAMP: biodiversity study over the alps
- Micro climatic sensor network (1800 m → 2700m)
- ✕ “Flying” alpine pasture experiments
- ☆ Meteo-France & MERRA stations
- ✕ Mini meteorological stations
- Stream gauges
- ★ FLUX ALP station



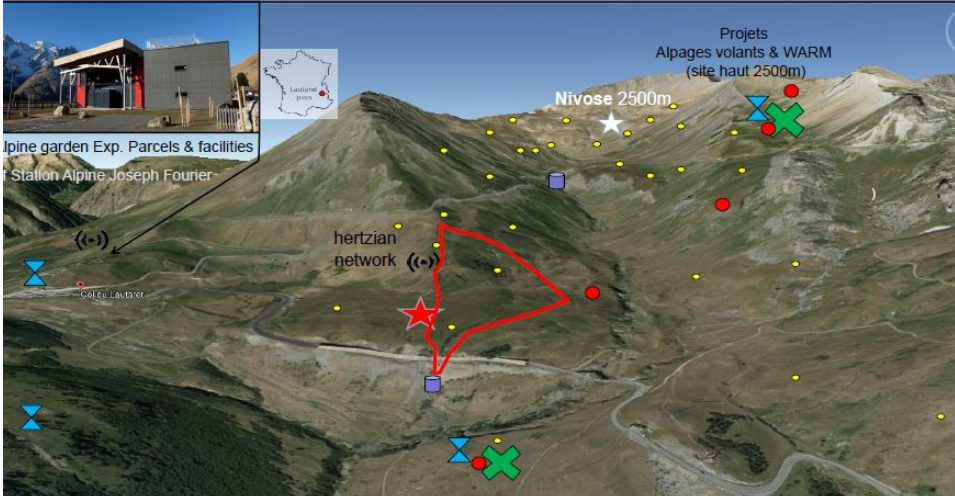
- Physic based model: solves coupled Richards and kinematic wave equations for water transfer and surface energy budget for Evapotranspiration uptakes (CLM) [5].
- Implemented on a small watershed in the French Alps (15.3 ha), above 2000m ASL

- 10x10 m<sup>2</sup> hor. Resolution; 11 levels (0 – 118m) with variable dz;
- DEM extracted from a 2m Lidar survey, processed with PriorityFlow [6]
- 2 differentiated horizon: 1 – soil (to 0.1 - 4.7 m), 2 – Flysch.
- Soil parameter distribution inferred from electromagnetic prospection [7]
- 2018 Meteorological forcing from Local measurements.
- Vegetation: LAI deduced from local NDVI measurements.





# I- Lautaret pass - SAJF: a multidisciplinary mountain observatory

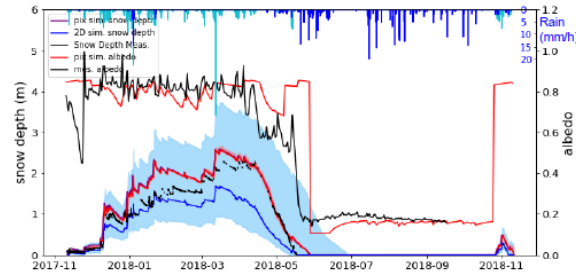
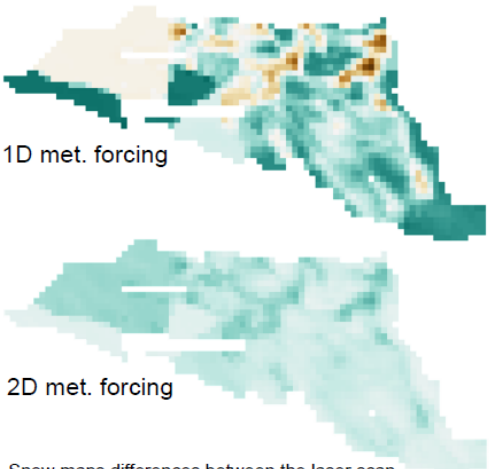


- ORCHAMP: biodiversity study over the alps
- Micro climatic sensor network (1800 m → 2700m)
- ✕ "Flying" alpine pasture experiments
- ☆ Meteo-France & MERRA stations
- ⊗ Mini meteorological stations
- Stream gauges
- ★ FLUX ALP station

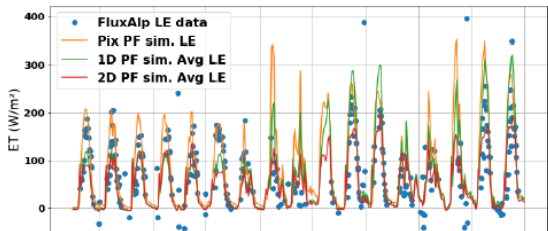


## Simulation experiments

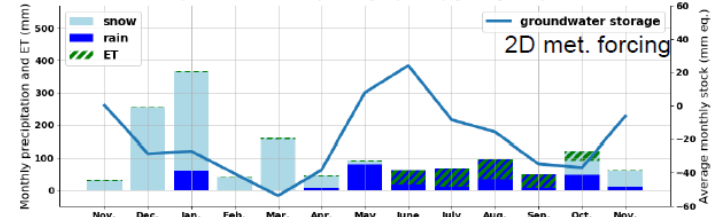
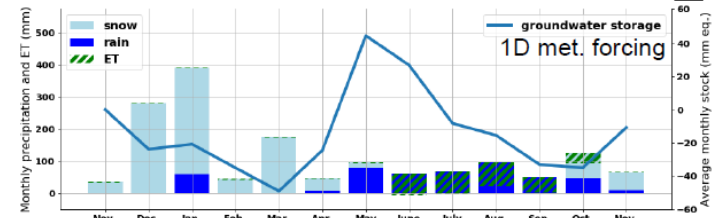
- Pix : a single pixel sim.
- 1D : a 3D sim. with a 1D meteo forcing
- 2D : a 3D sim. with a 2D dist. meteo forcing



Snow depth Avg (full lines) and spatial dispersion (shade) together with surf. albedo for the 3 sim. Observations (black)

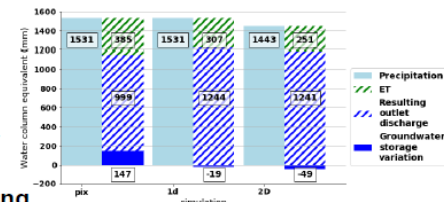


ET observed and simulated for the 3 sim. Over a 2 weeks period in July 2018 (hourly data).



Monthly and yearly water budgets.

**Distributed forcing impacts snow dynamics, surface processes, groundwater recharge ... They are highly recommended for hyper resolution mountain modeling**





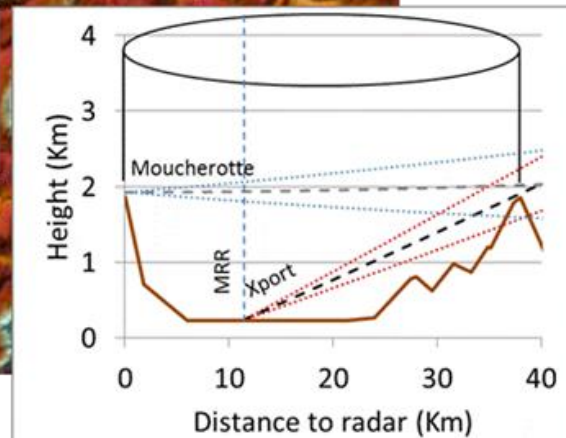
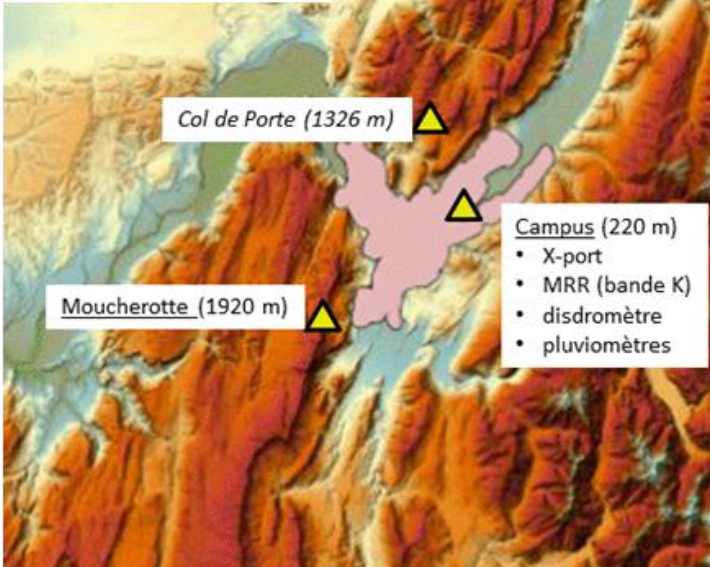
# RadAlp : Télédétection radar des précipitations liquides et solides dans les Alpes

G. Delrieu, F. Cazenave, A. Khanal, B. Boudevillain, B. Mercier  
Institut des Géosciences de l'Environnement, Grenoble, France

N. Yu, D. Faure, T. Le Bastard, N. Gaussiat  
Centre de Météorologie Radar, Météo France

Projet soutenu par le Labex osug@2020, le SCHAPI et EDF-DTG

# Contexte expérimental



# Objectifs scientifiques

Etablir une climatologie de la structure 4D des précipitations dans une grande vallée alpine

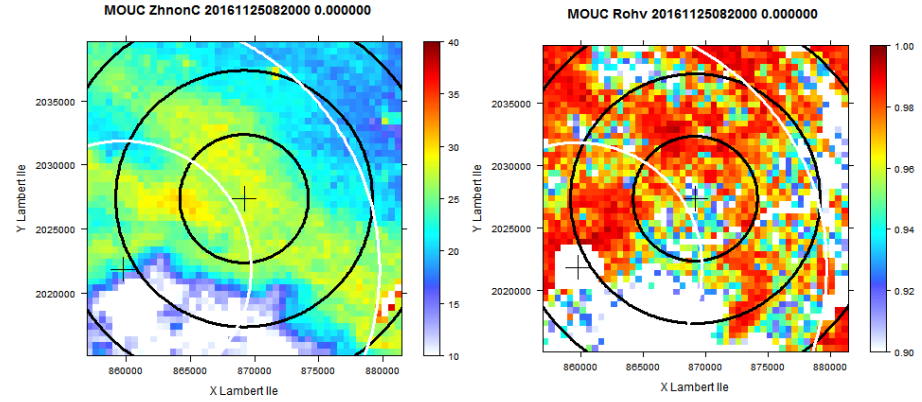
→ validation des modèles de prévision (AROME)

Améliorer les algorithmes d'estimation des précipitations liquides et solides des radars bande X opérant en région de haute-montagne

→ Améliorer les produits « précipitation » d'ARAMIS

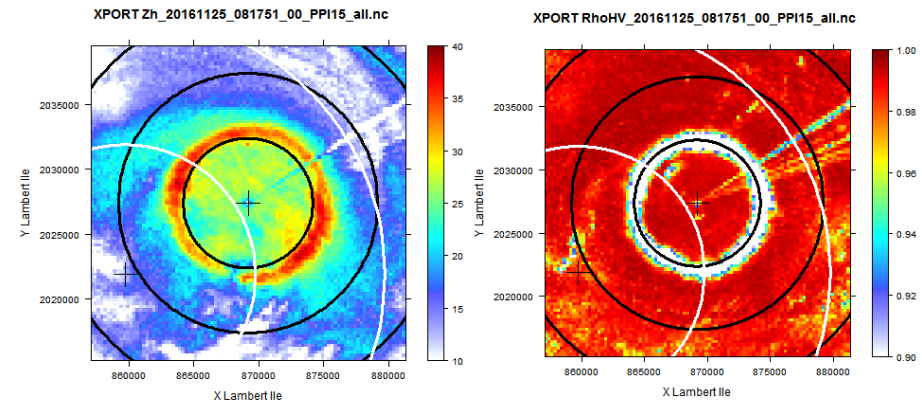
## Radar du MOUCHEROTTE

X-Band, 1920 m asl  
 8 PPIs  
 0, 0.6, 1.2, 2, 3, 4, 8, 14°  
 Polarimétrie et Doppler



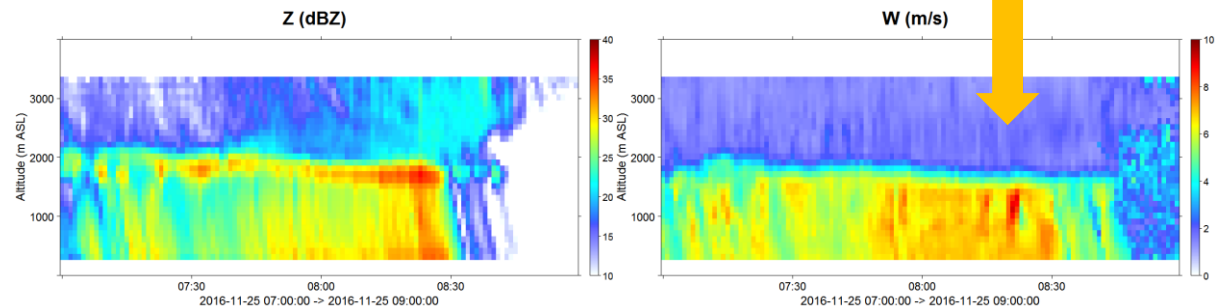
## Radar XPORT

X-Band, 213 m asl  
 4 PPIs, 1 HTI  
 3.5, 7.5, 15, 25, 90°  
 Polarimétrie et Doppler



## MRR

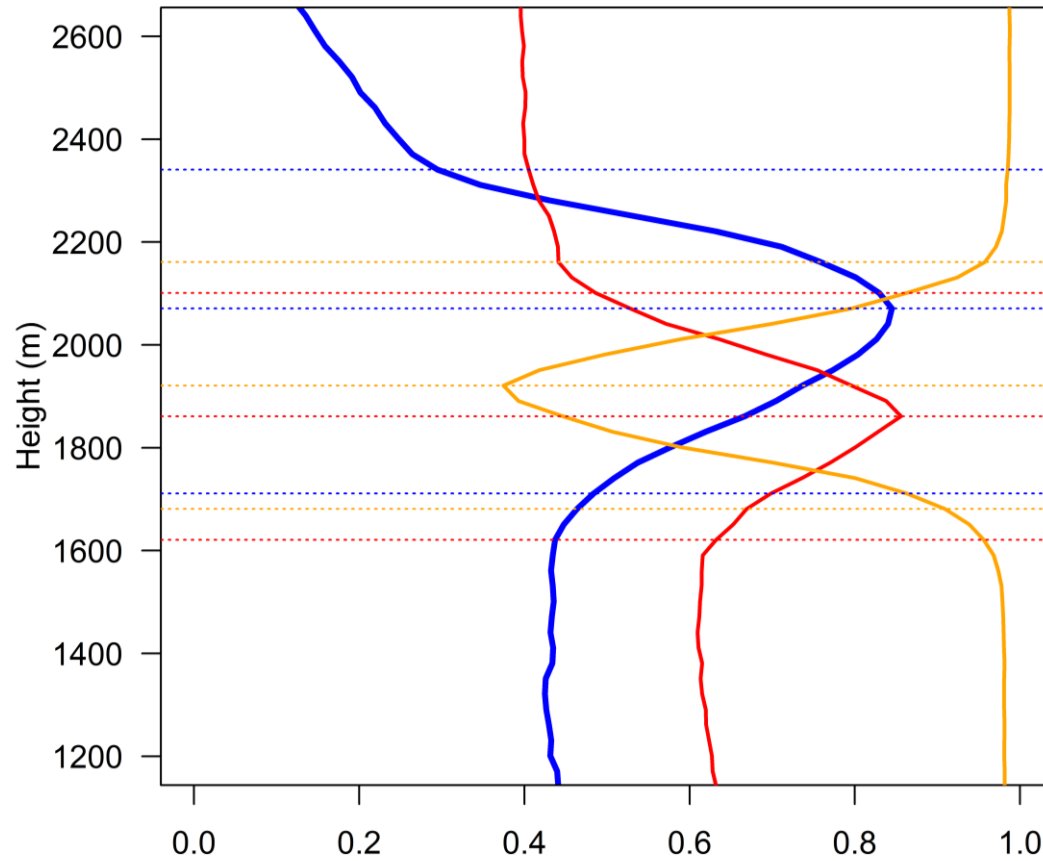
K-band, 213 m asl  
 HTI  
 Doppler



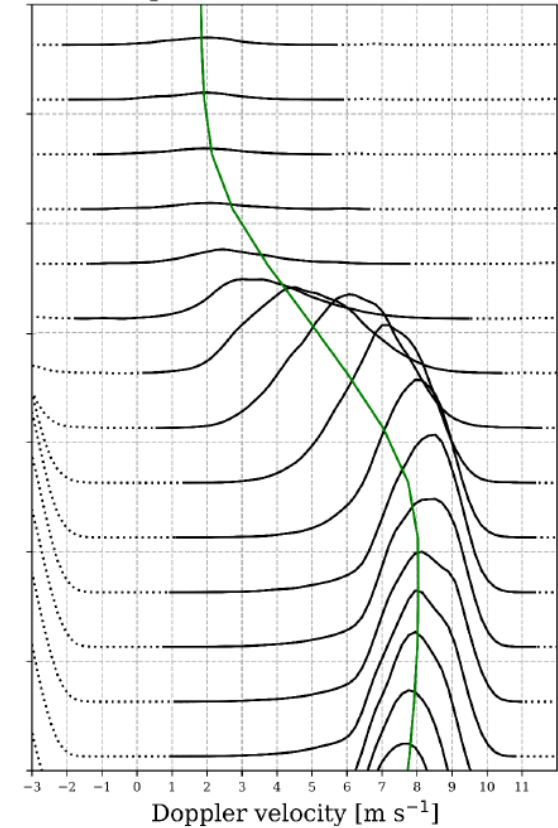


Credit: Jussi Leinonen, NASA/JPL

# Structure de la couche de fusion



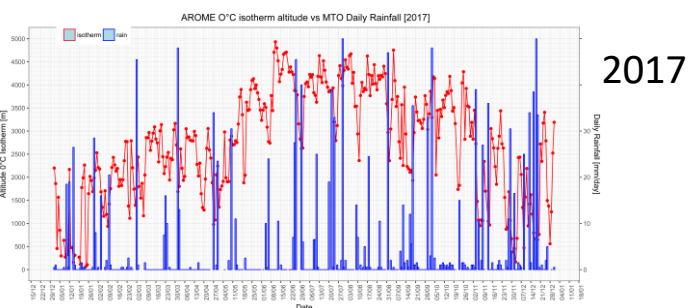
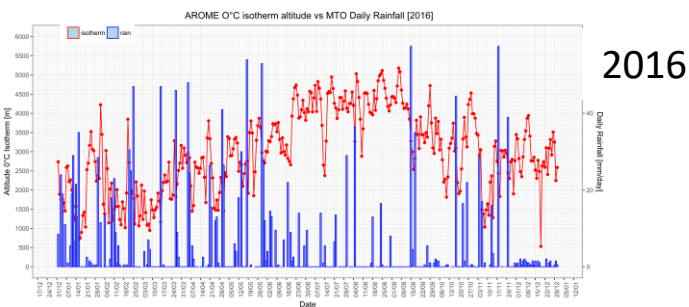
MK12 spectra 2016-11-24 07:04:00



normalized value  
Zh  
Zdr  
Rhohv

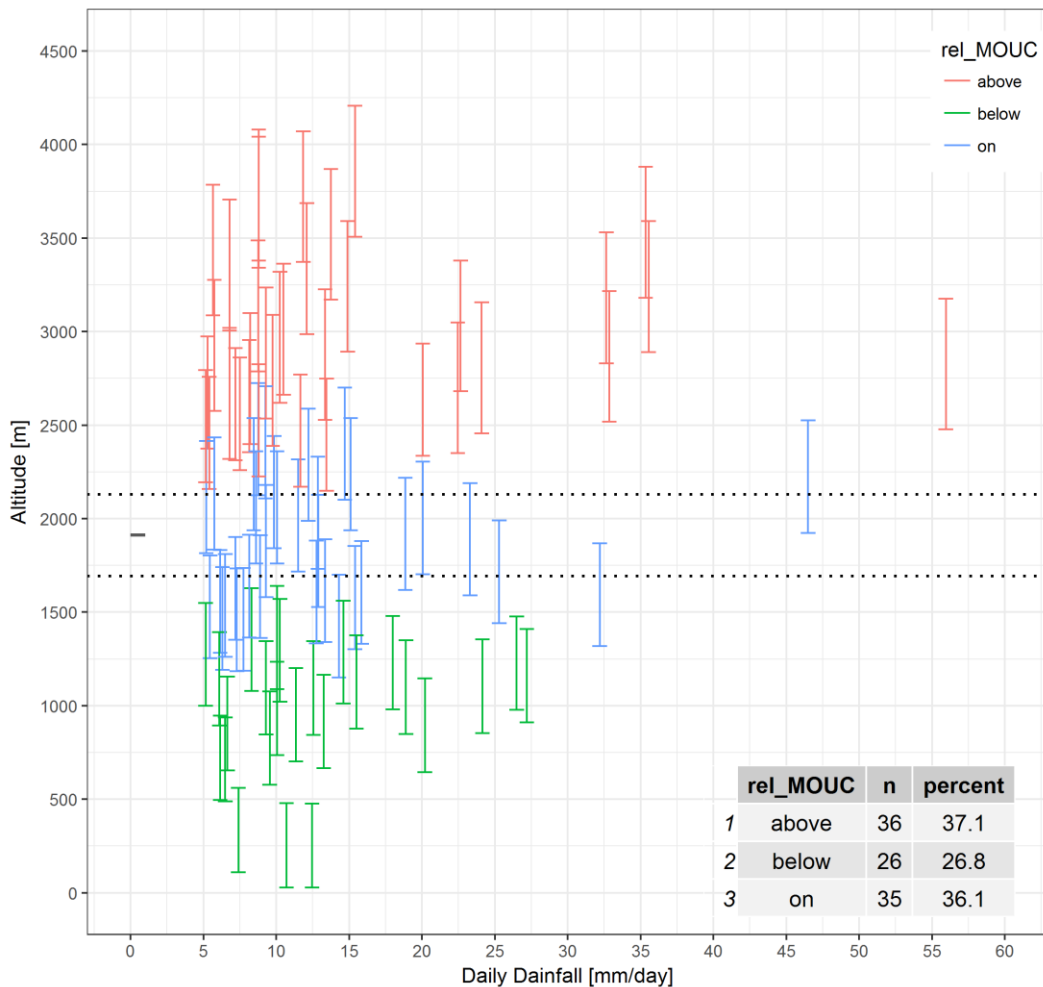
MRR Vr

# Statistiques altitude et extension verticale de la couche de fusion à Grenoble



0°C isotherm altitude at 1200UTC  
Daily rain amount at XPORT site

Melting layer vs MOUC  
[Mltop:AROME, MLwidth:Xport, Range: 20 km, elevation: 0°]





Radar remote sensing of precipitation in high mountains: detection and characterization of **Melting Layer** in French Alps,

Khanal, A. K., Delrieu, G., Cazenave, F., and Boudevillain, B. *Atmosphere*, 10, 784; doi:10.3390/atmos10120784, 2019.

On the relationship between total differential phase and path-integrated **attenuation at X-band** in an Alpine environment.

Delrieu, G., A.K. Khanal, Nan Yu, F. Cazenave, B. Boudevillain, and N. Gaussiat. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2020, in review

Impact of the **Altitudinal Gradients** of Precipitation on the Radar QPE Bias in the French Alps.

Faure, D., G. Delrieu, et N. Gaussiat. *Atmosphere* 10(6): 306, 2019.

## En guise de conclusion ...

- Expertises dans le cycle de l'eau en zone de montagne et l'hydrologie nivale (observation et modélisation), ainsi qu'en prévision d'ensemble
- Acteur « recherche », mais avec une culture et un intérêt pour l'opérationnel (transferts de connaissances et/ou méthodologiques)
- Pas de « produit fini maison » à vendre, mais une volonté de coopération autour d'outils communautaires
- Souhait de maintenir un ancrage territorial fort