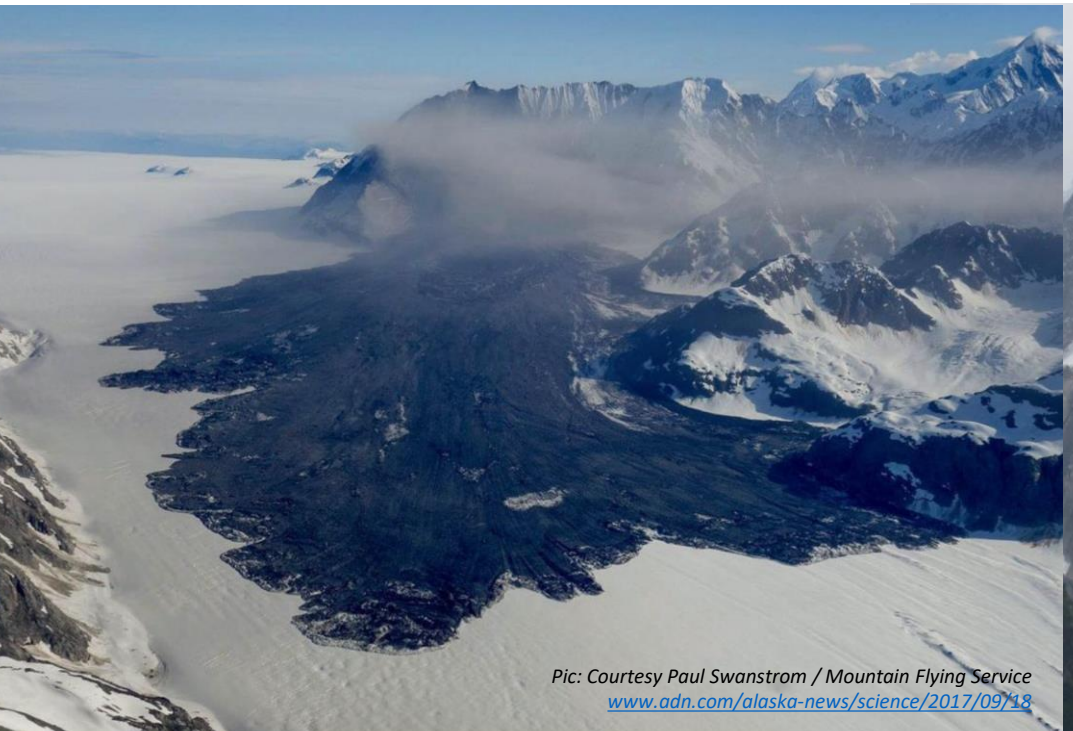
Modéliser les processus hydrogéologiques dans les parois à permafrost

Florence Magnin, J-Y. Josnin, M. Ben-Asher, J. Bock, P. Deline, P, L. Ravanel,

Laboratoire EDYTEM (CNRS, Université Savoie Mont Blanc)

florence.magnin@univ-smb.fr



Pic: Courtesy Paul Swanstrom / Mountain Flying Service
www.adn.com/alaska-news/science/2017/09/18

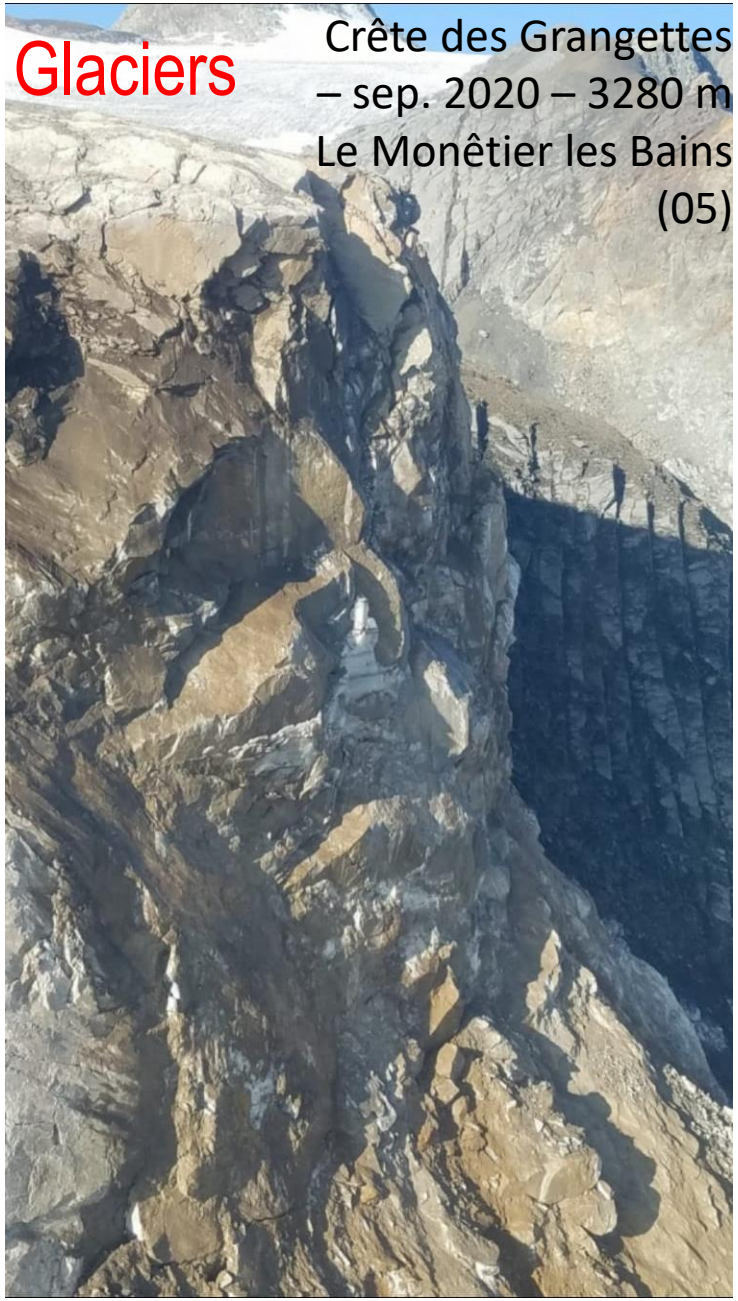
SHF 2022 - 3 et 4 février 2022

Pic : J-C Bèche

www.geopraevent.ch
Source : Scoria hut

Lien entre permafrost, circulations d'eau et écroulements
Origines de l'eau dans les parois à permafrost

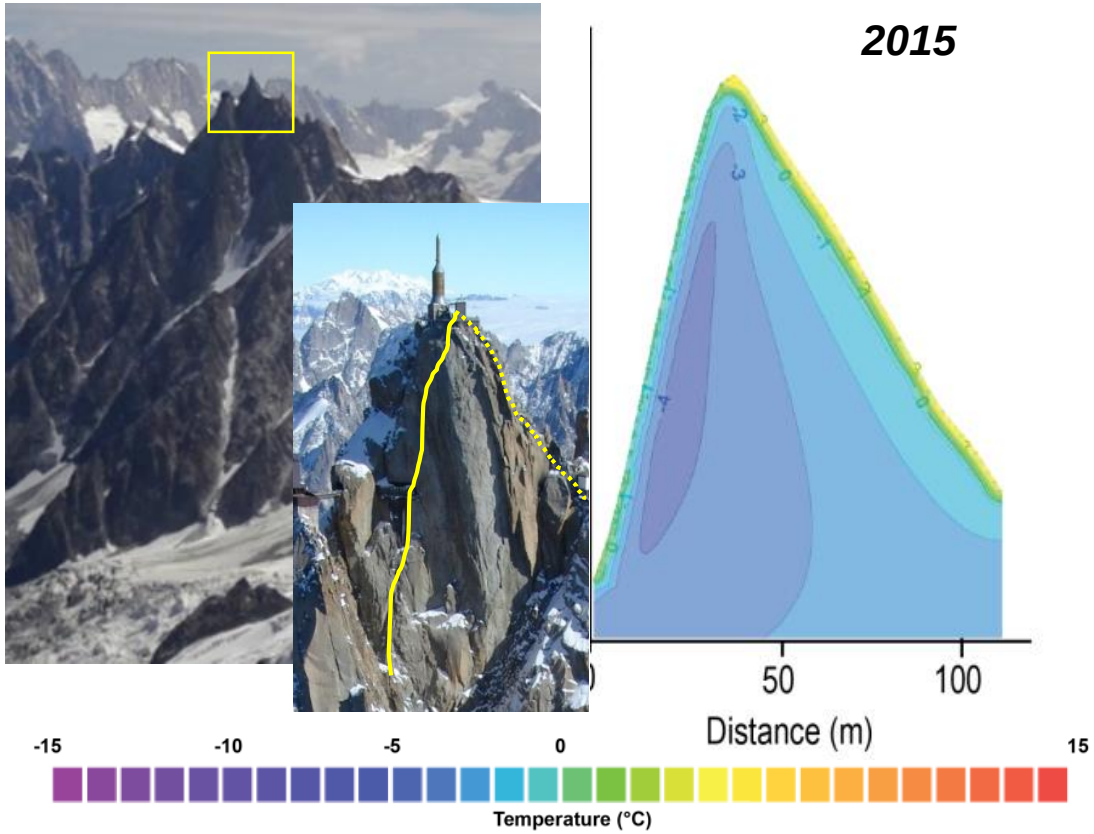
Etache – juin 2020 – 3125 m
Bramans (73)



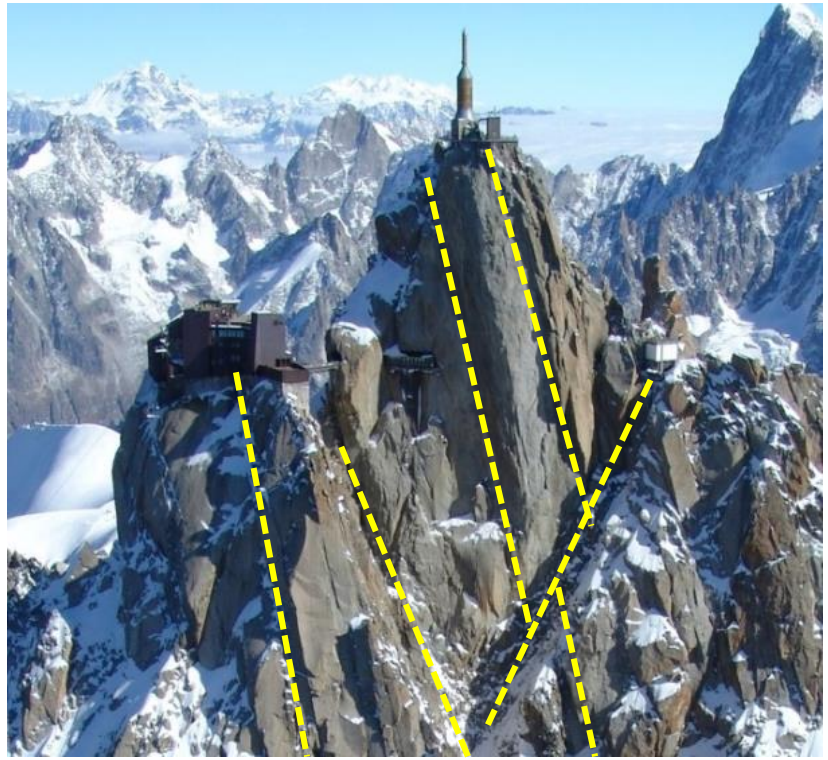
Crête des Grangettes – sep. 2020 – 3280 m
Le Monêtier les Bains (05)

Modélisation du permafrost

Aiguille du Midi – 3842 m a.s.l



Conduction de la chaleur et chaleur latente dans un milieu homogène et isotrope



Intégration des processus hydrogéologiques dans les modèles thermiques

Flux d'eau transitoire dans un milieu poreux en 3D (*x,y,z*)

Conductivité hydraulique à saturation (m. s^{-1})

Charge hydraulique (m)

Emmagasinement spécifique (m^{-1})

Temps (s)

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{Sxx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{Syy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{Szz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)=S\frac{\partial h}{\partial t}$$

Intégrée dans l'équation de diffusion de la chaleur

Porosité

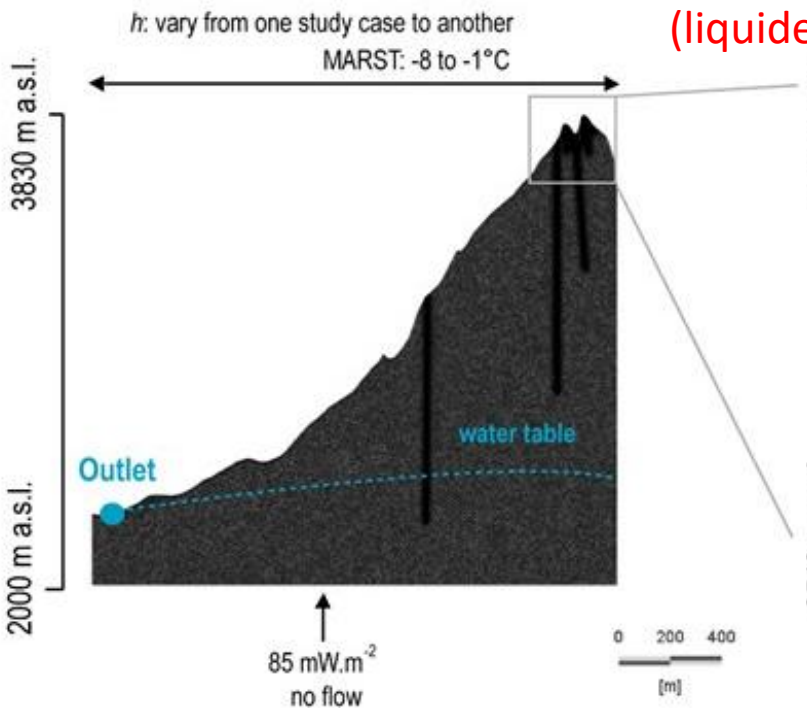
Vitesse de Darcy (m. s^{-1})

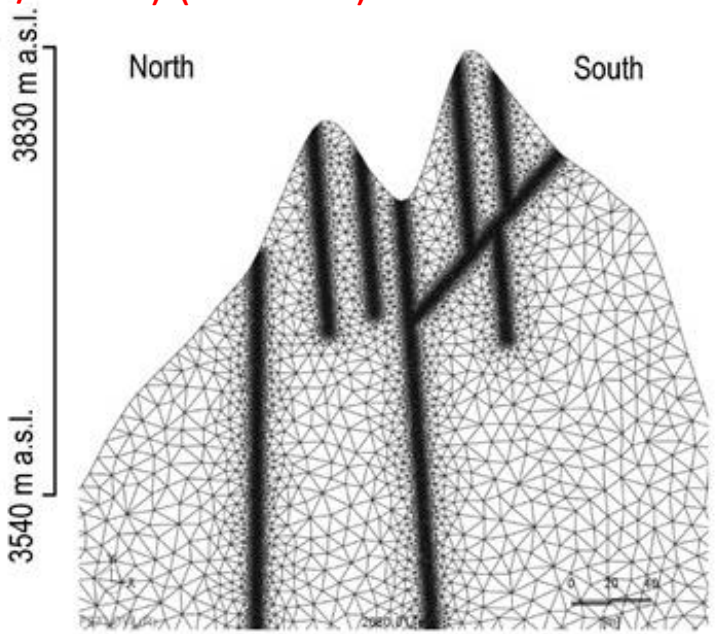
Température (K)

$$\frac{\partial\left[(\varphi\rho c)_L+(1-\varphi)(\rho c)_S\right]T}{\partial t}=-\nabla.\left[(\rho c)_L qT-\Lambda\nabla T\right]$$

Capacité calorifique volumique (liquide/solide) (J m^{-3} K^{-1})

Tenseur de thermo-dispersion (J m^{-1} s^{-1} K^{-1})





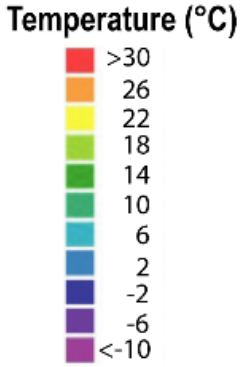
- Intégration de la loi de Darcy dans l'équation de continuité
- Dans les fractures : loi de Hagen-Poiseuille (flux laminaire)
- « Freezing function » pour calculer le ratio eau/glace
- Différents cas d'étude
- Simulations avec le logiciel Feflow® (DHI-WASY)

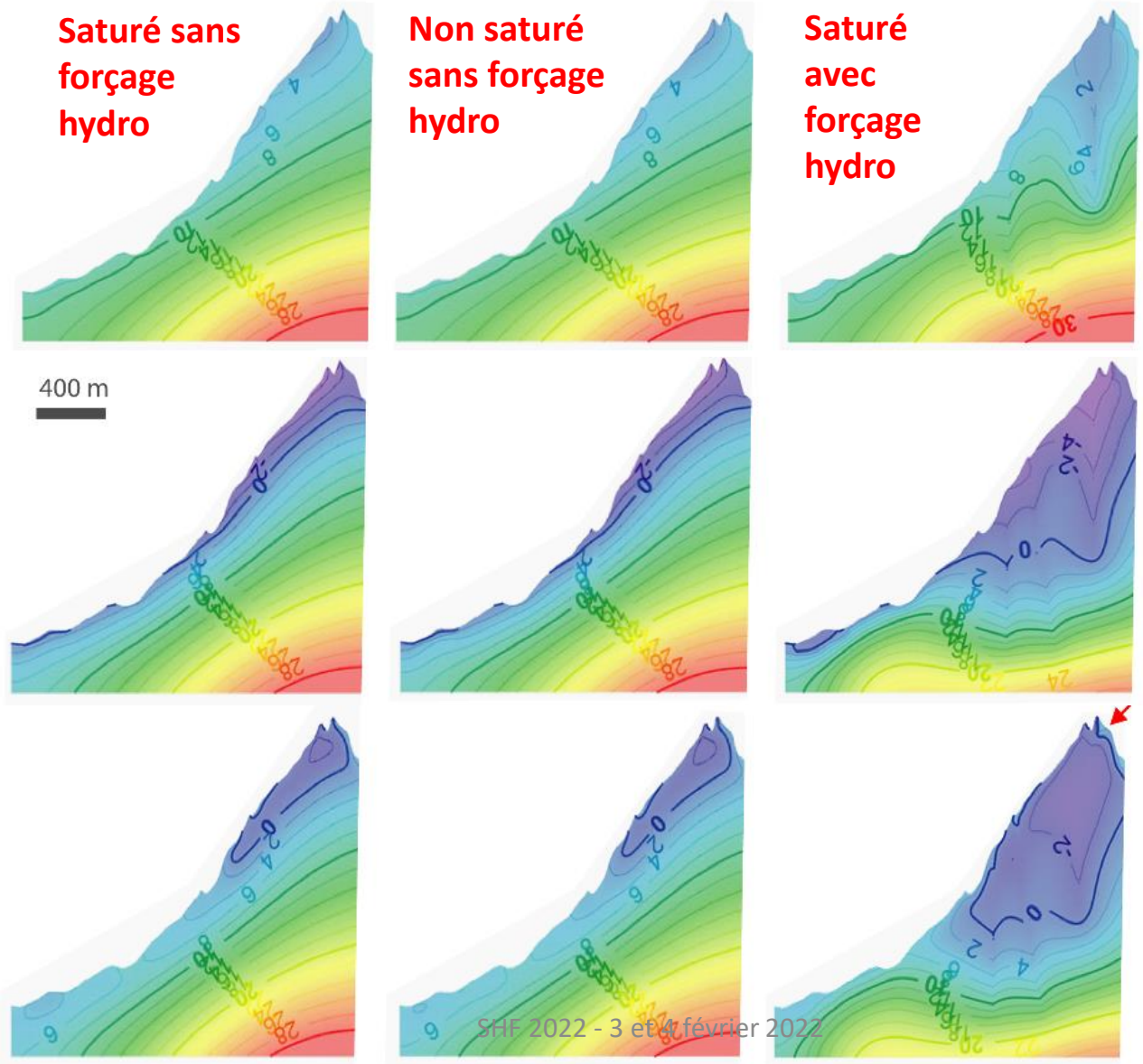
Résultats : évolution de la température

Initialisation pour conditions non gelées

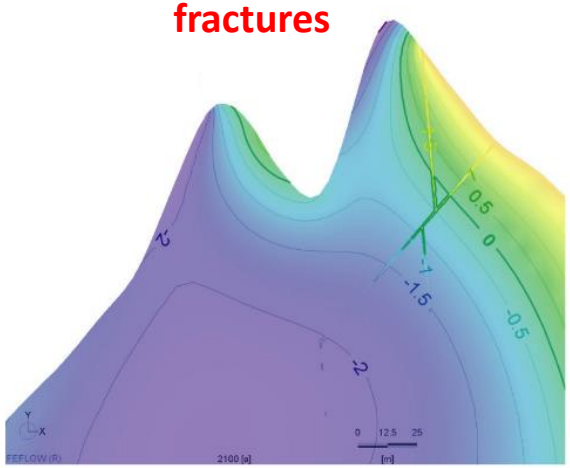
Gel progressif

Dégel progressif

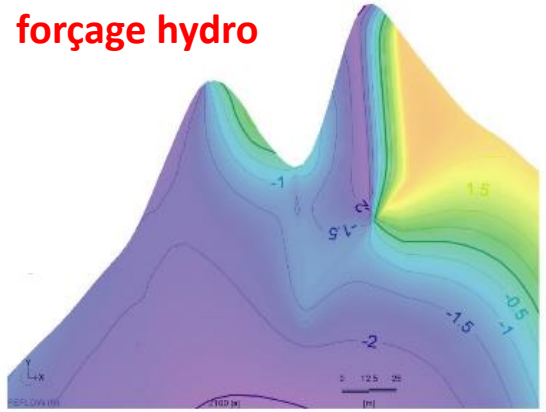




Non saturé avec forçage hydro uniquement dans les fractures



Saturé avec forçage hydro

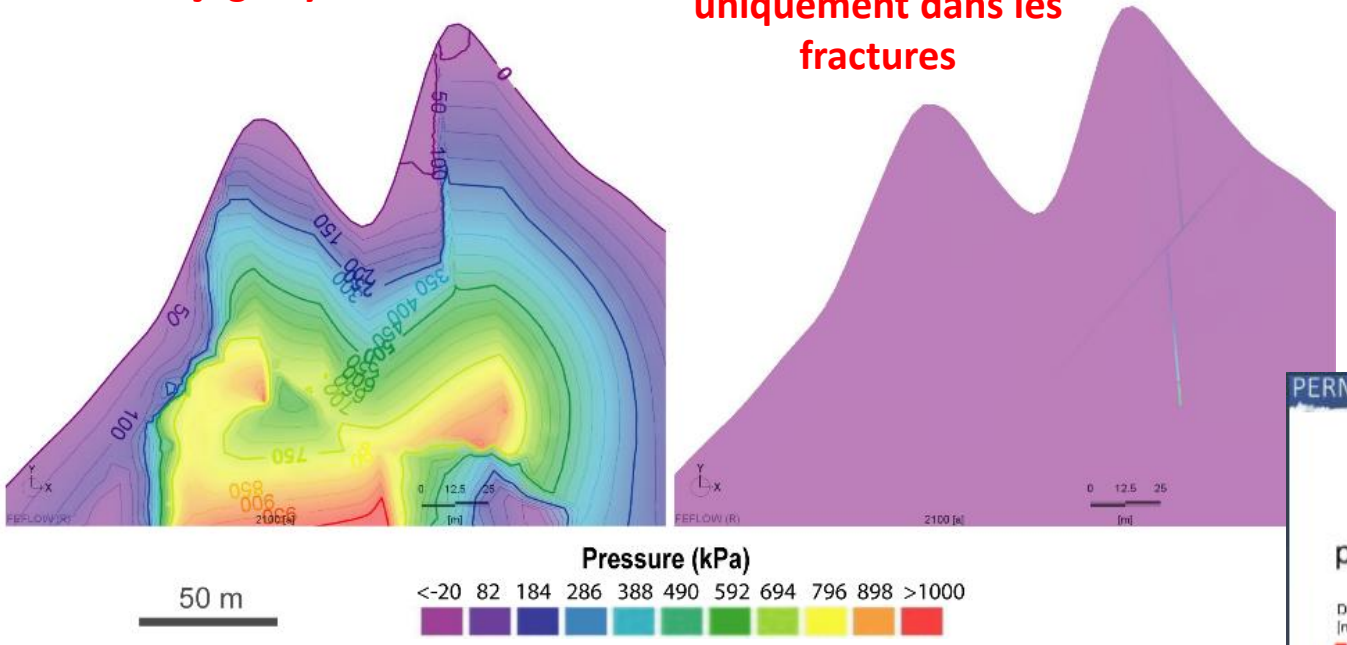


Magnin et Josnin, 2021

Résultats : pressions hydrostatiques

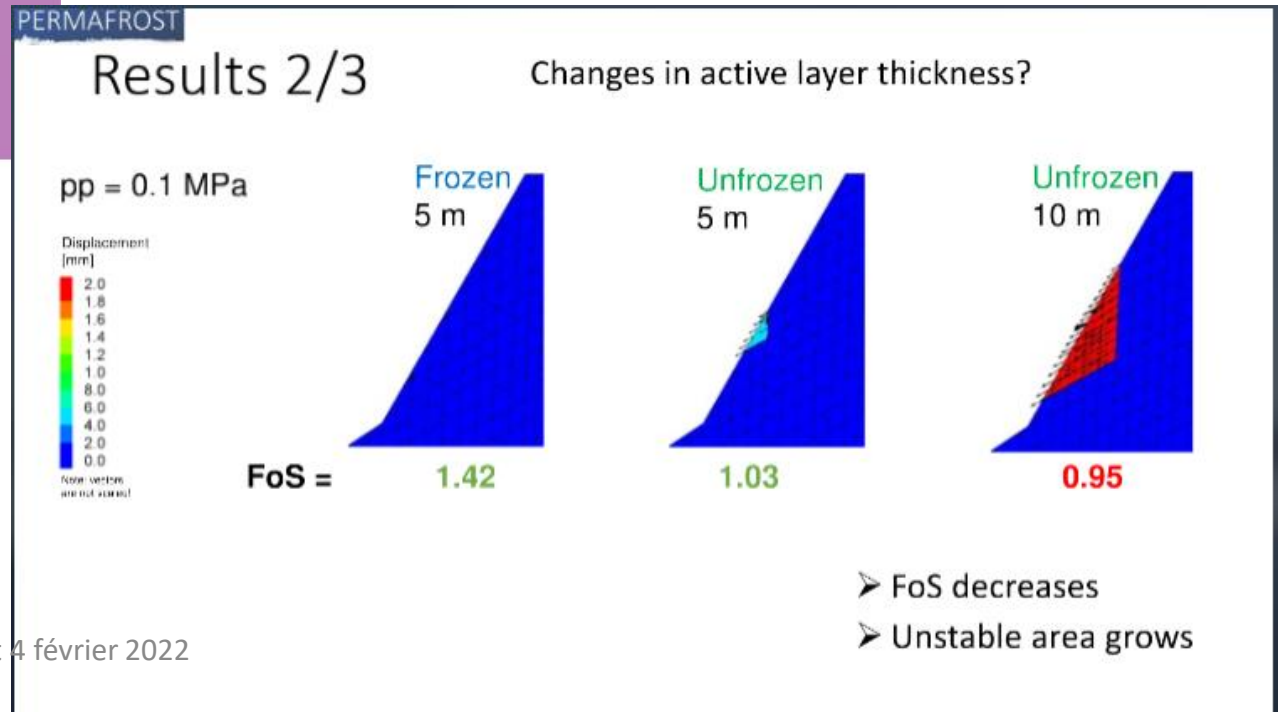
Saturé avec forçage hydro

Non saturé avec forçage hydro uniquement dans les fractures

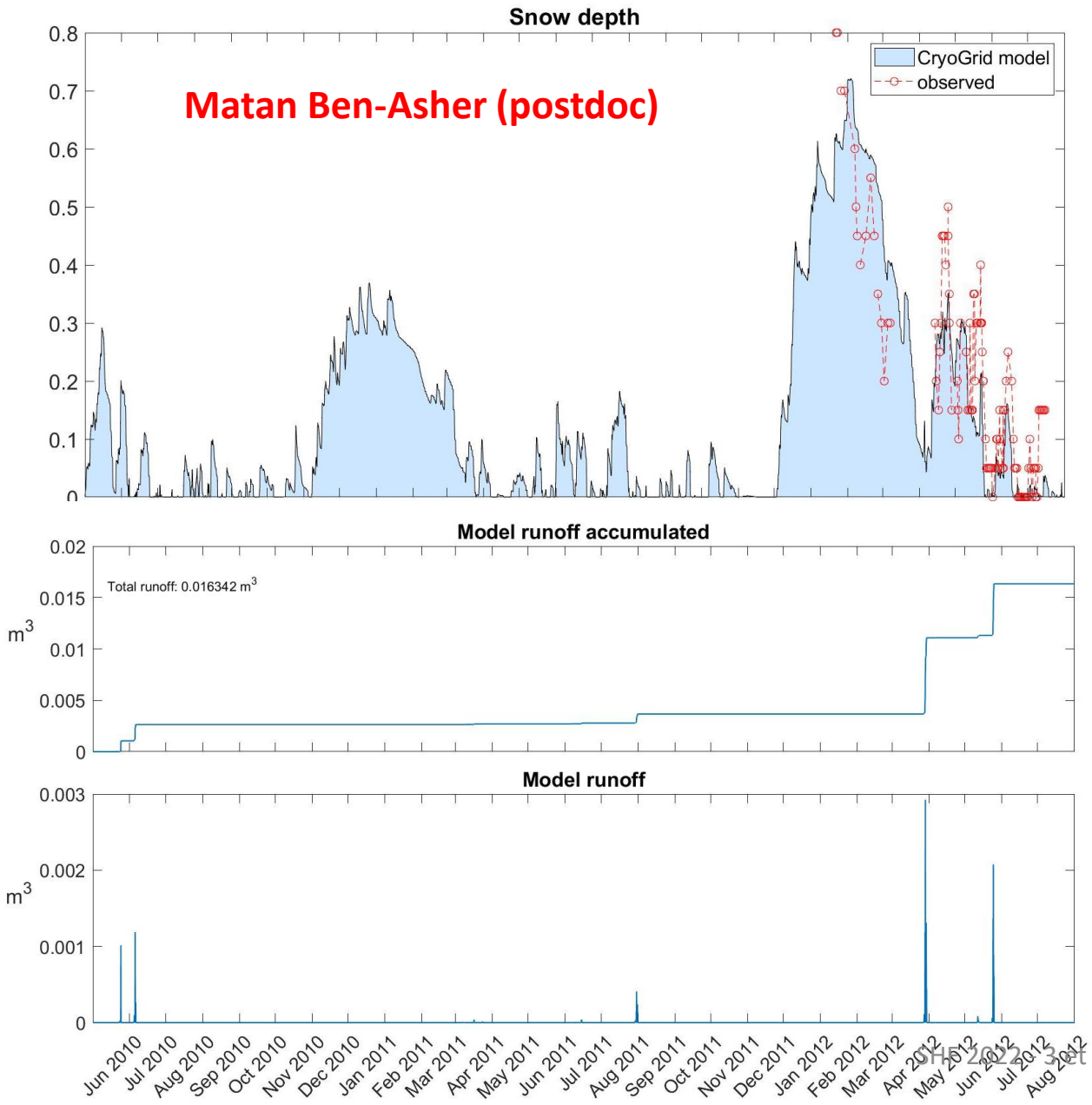


Magnin et Josnin, 2021

Stoll, V., Scandroglio, R., Krautblatter, M., 2020.* ***Modelling rock walls destabilization caused by hydrostatic pressure in frozen/unfrozen bedrock (Hochvogel & Zugspitze, Germany). Presented at the EGU General Assembly, Vienna, Austria.* *https://doi.org/doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-14338*

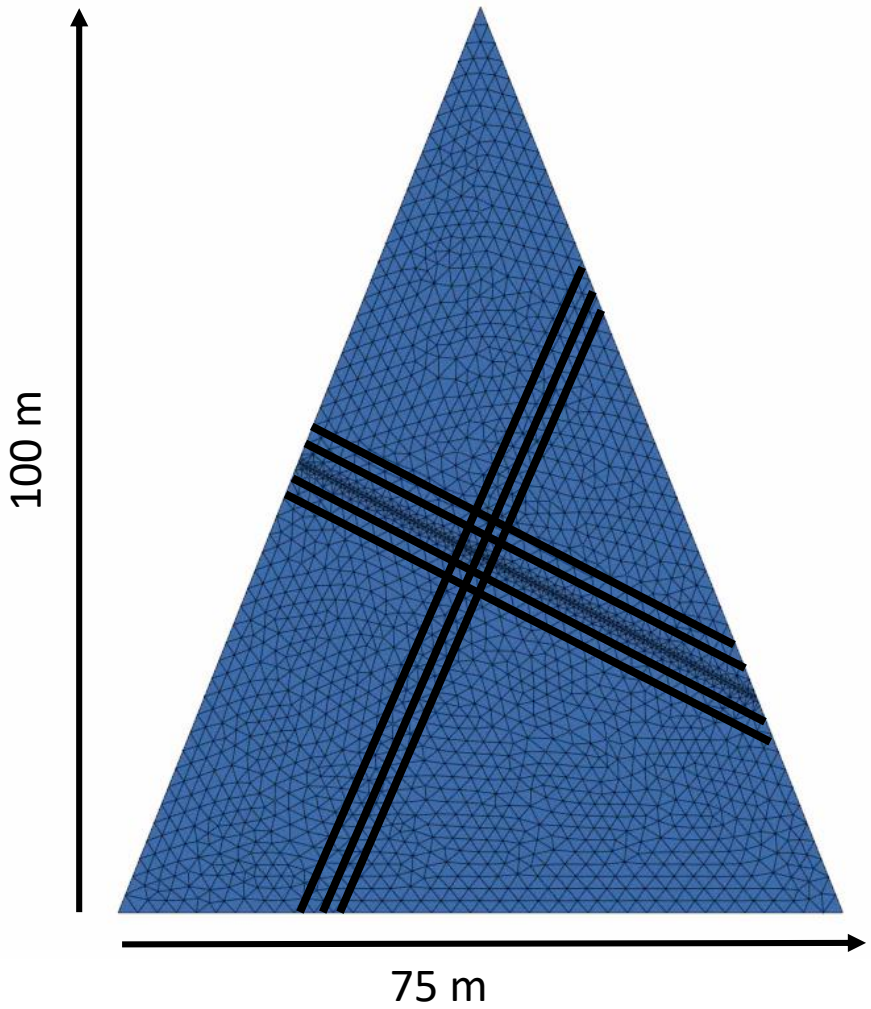


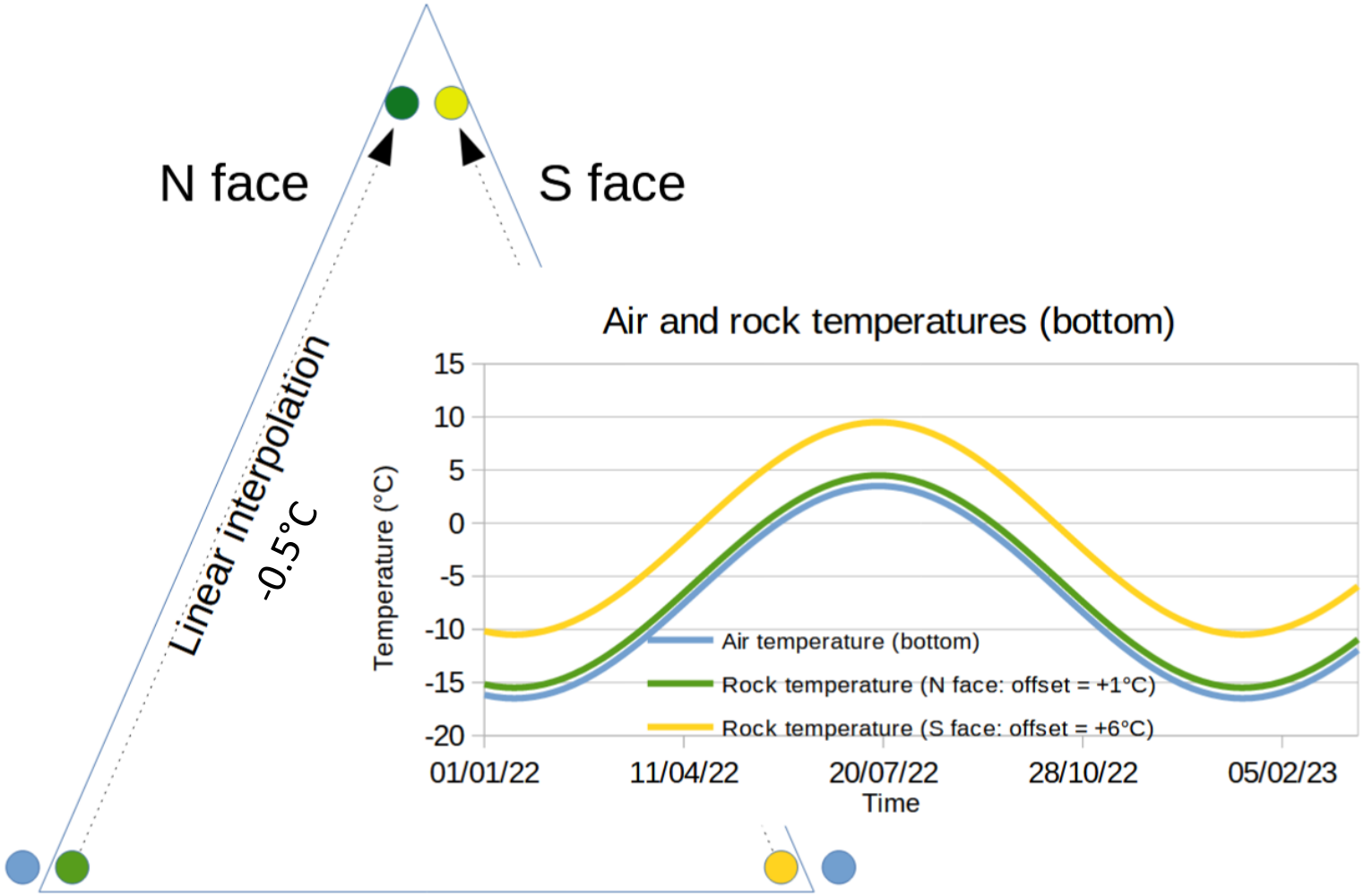
Travaux en cours : estimer la quantité d'eau pouvant s'infiltrer dans les parois



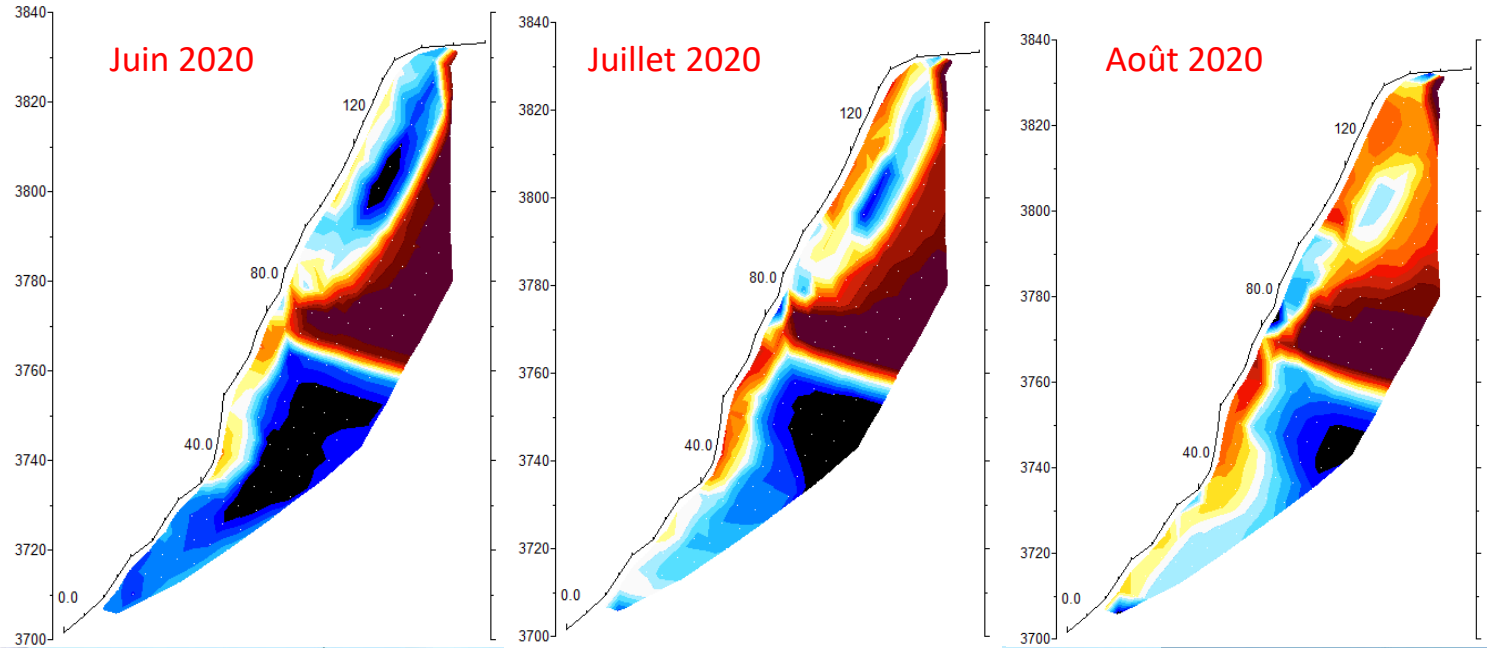
Travaux en cours : tester la sensibilité des résultats à la géométrie des fractures (densité, orientation, ouverture…)

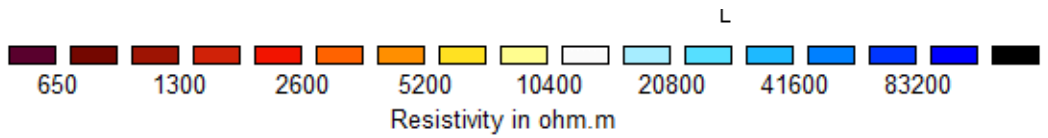
Josué Bock (postdoc)

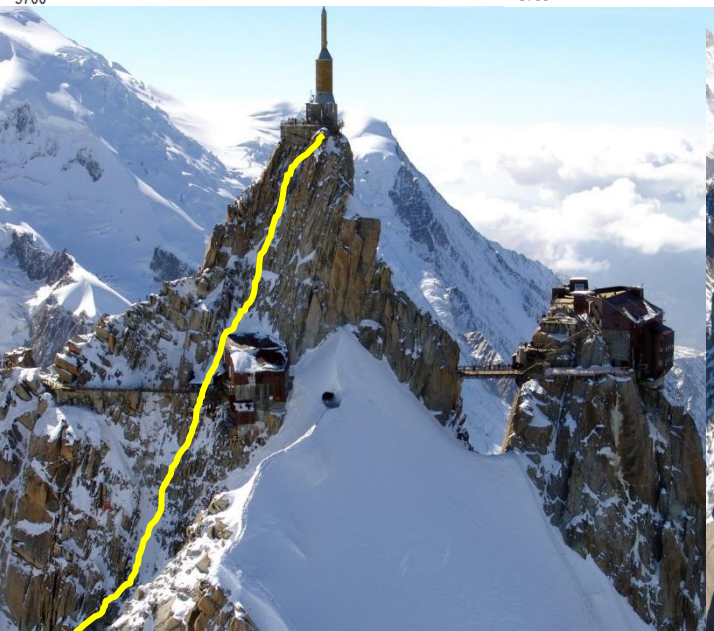


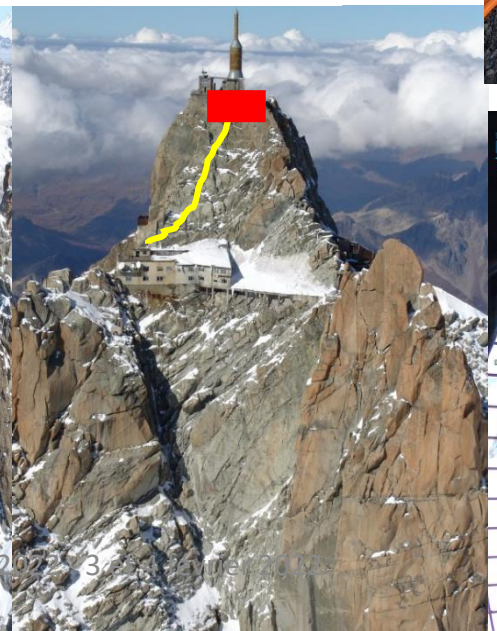


Travaux en cours : obtenir un jeu de données indépendant









Résumé

- Le projet WISPER vise à intégrer les processus hydrologiques et hydrogéologiques dans la compréhension du fonctionnement du permafrost de paroi et de son rôle dans les écroulements rocheux
- Une approche de modélisation couplant les processus thermiques et hydrogéologiques a été proposée et montre que les infiltrations d'eau peuvent localement accélérer la dégradation du permafrost et permettre le développement de pressions hydrostatiques suffisamment élevées pour déstabiliser les versants.
  ➔ *Magnin & Josnin, JGR, 2021*
- La dégradation du permafrost résultant des écoulements d'eau est largement contrôlée par le niveau de saturation
- Dans les mois à venir, il s'agira de quantifier les apports en eau possible et de tester la sensibilité des résultats à différentes géométries de fractures et différents apports en eau.
- En parallèle, un monitoring géoélectrique a été mis en place à l'Aiguille du Midi pour acquérir un jeu de données indépendant qui servira aussi à améliorer cette compréhension sur les processus hydrogéologiques.

Merci beaucoup ! Questions ?

Florence Magnin, J-Y. Josnin, M. Ben-Asher, J. Bock, P. Deline, P, L. Ravanel,

Laboratoire EDYTEM (CNRS, Université Savoie Mont Blanc)

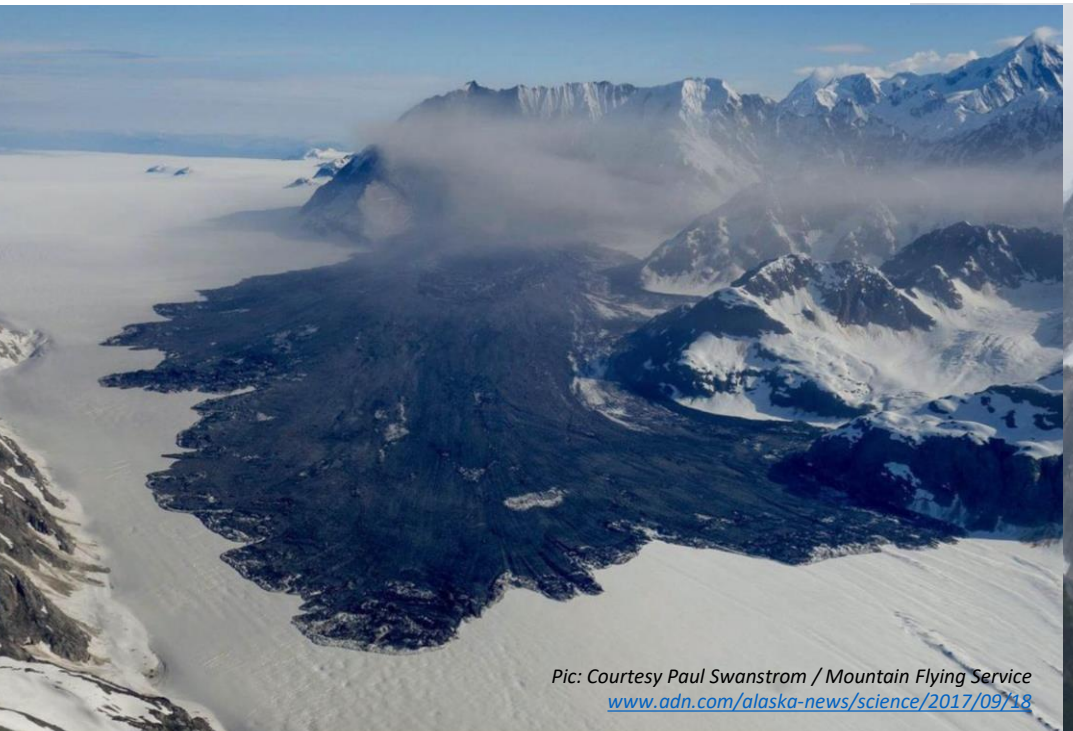
florence.magnin@univ-smb.fr

Merci beaucoup ! Questions ?

Florence Magnin, J-Y. Josnin, M. Ben-Asher, J. Bock, P. Deline, P, L. Ravanel,

Laboratoire EDYTEM (CNRS, Université Savoie Mont Blanc)

florence.magnin@univ-smb.fr



Pic: Courtesy Paul Swanstrom / Mountain Flying Service
www.adn.com/alaska-news/science/2017/09/18

Pic : J-C Bèche

www.geopraevent.ch
Source : Scoria hut

Résumé

- Le projet WISPER vise à intégrer les processus hydrologiques et hydrogéologiques dans la compréhension du fonctionnement du permafrost de paroi et de son rôle dans les écroulements rocheux

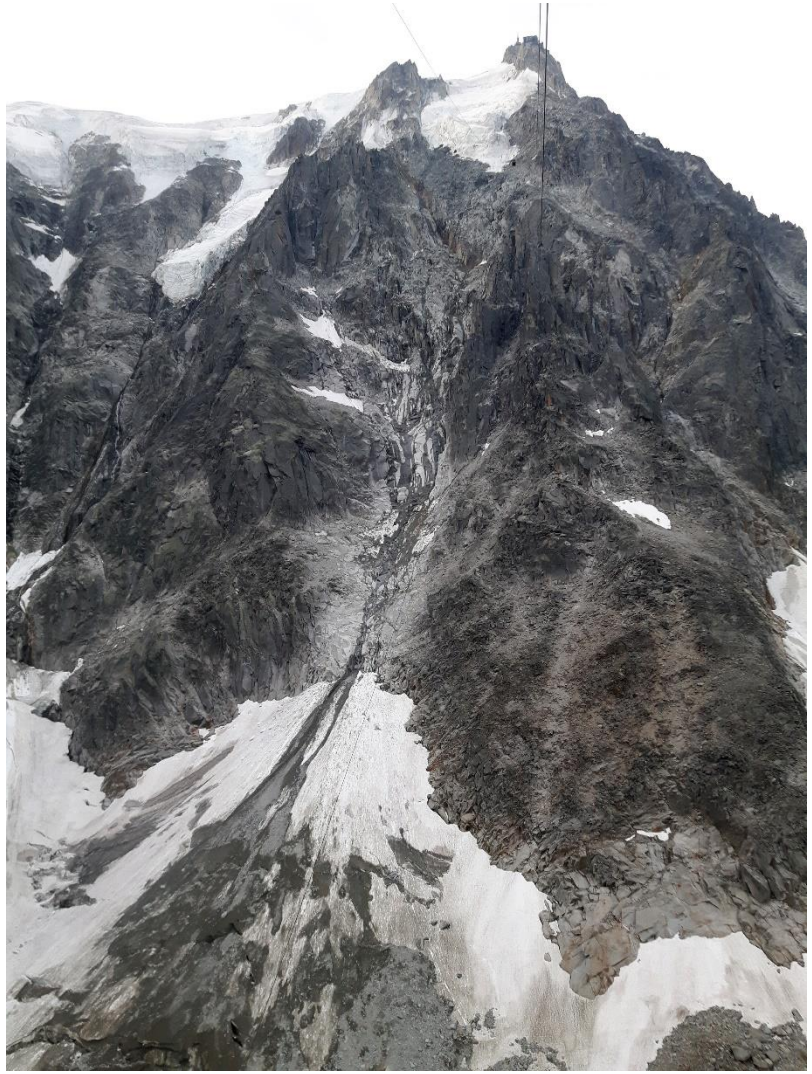
- Une approche de modélisation couplant les processus thermiques et hydrogéologiques a été proposée et montre que les infiltrations d'eau peuvent localement accélérer la dégradation du permafrost et permettre le développement de pressions hydrostatiques suffisamment élevées pour déstabiliser les versants. ➔ *Magnin & Josnin, JGR, 2021*

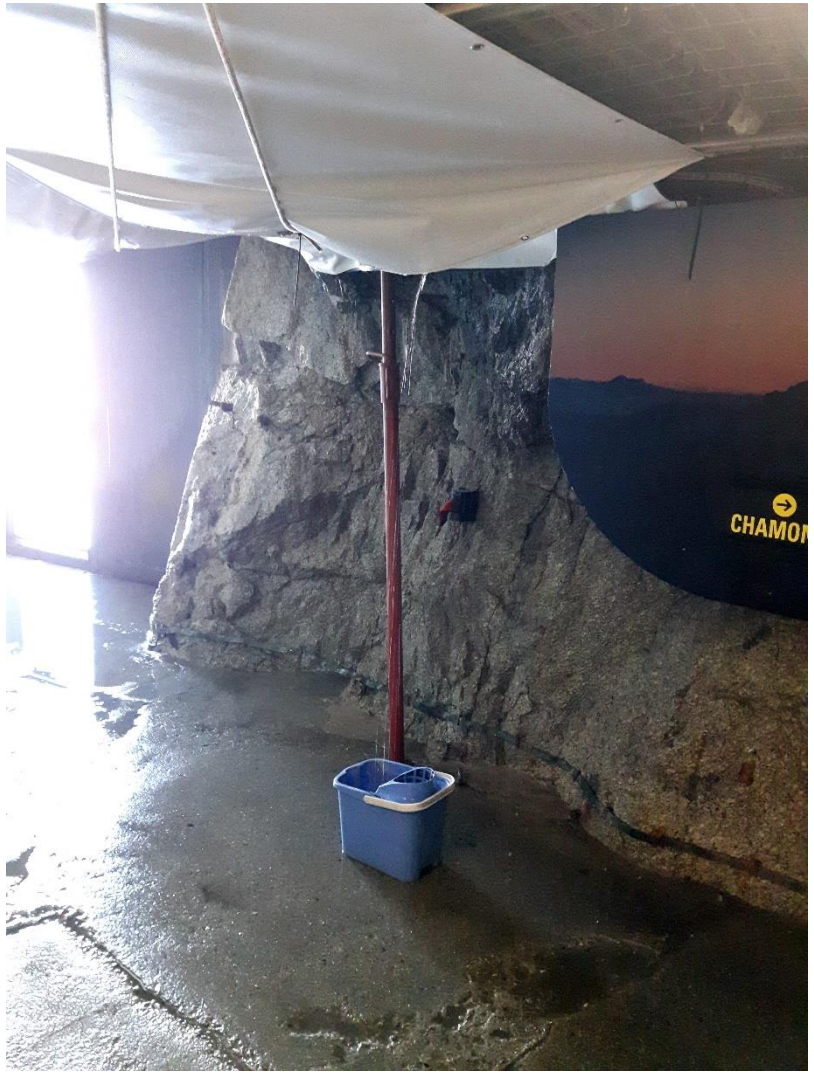
- La dégradation du permafrost résultant des écoulements d'eau est largement contrôlée par le niveau de saturation

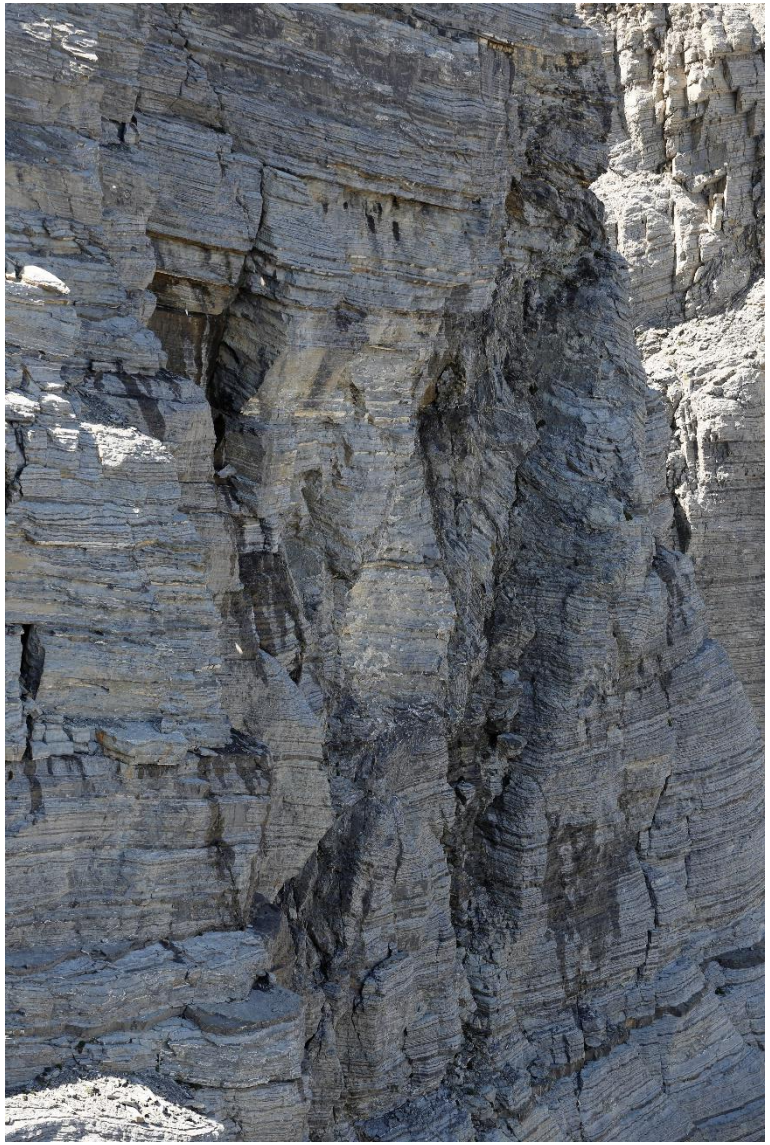
- Dans les mois à venir, il s'agira de quantifier les apports en eau possible et de tester la sensibilité des résultats proposés à différentes géométries de fractures et différents apports en eau.

- En parallèle, un monitoring géoélectrique a été mis en place à l'Aiguille du Midi pour acquérir un jeu de données indépendant qui servira aussi à améliorer cette compréhension sur les processus hydrogéologiques.

Circulations d'eau dans les parois à permafrost

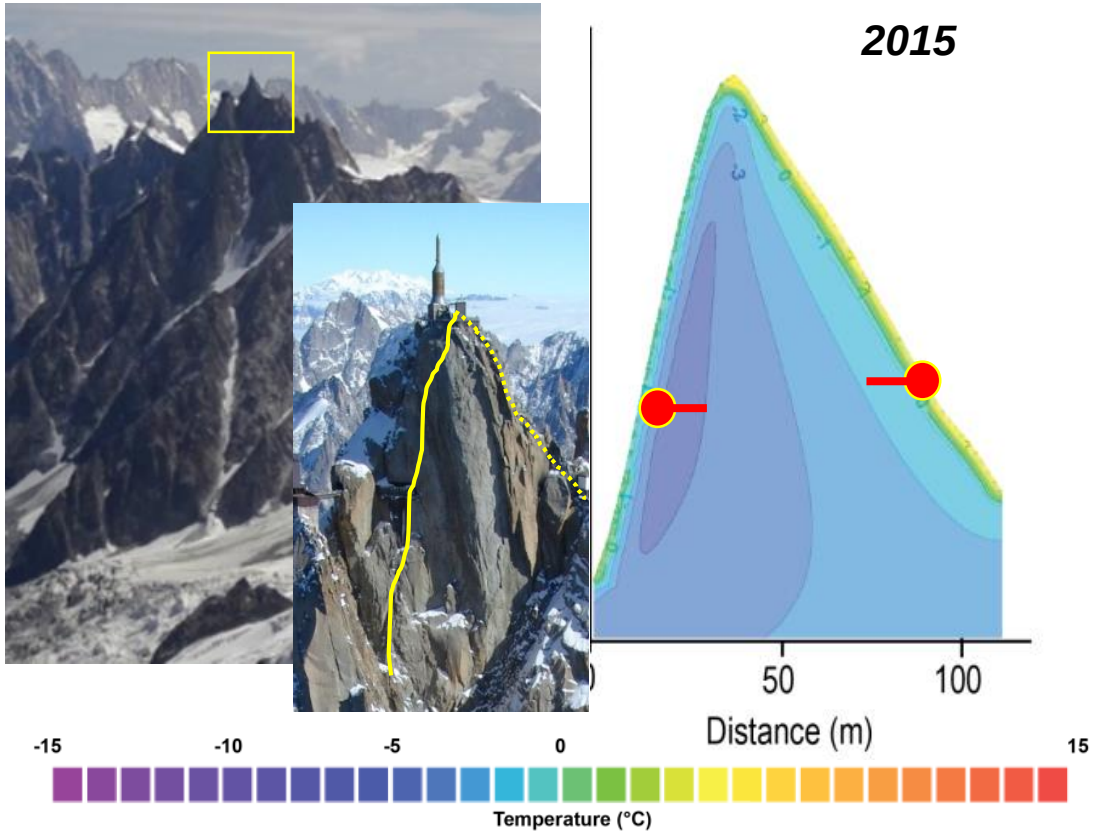


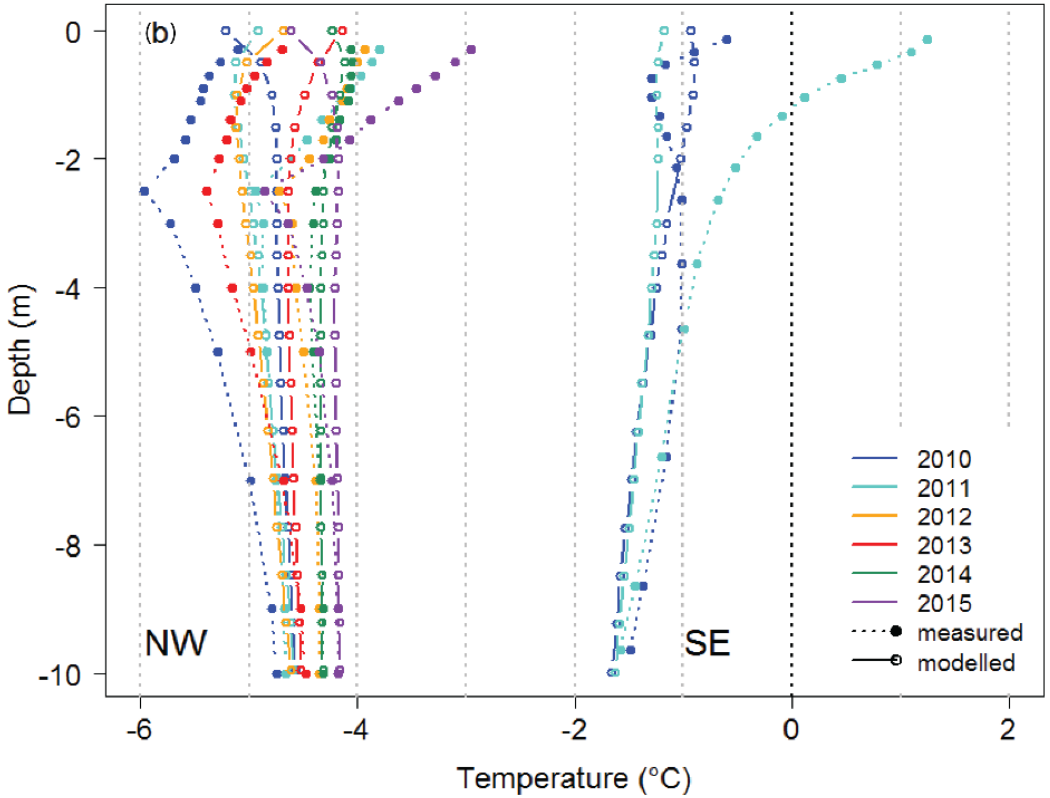




Modélisation du permafrost

Aiguille du Midi – 3842 m a.s.l



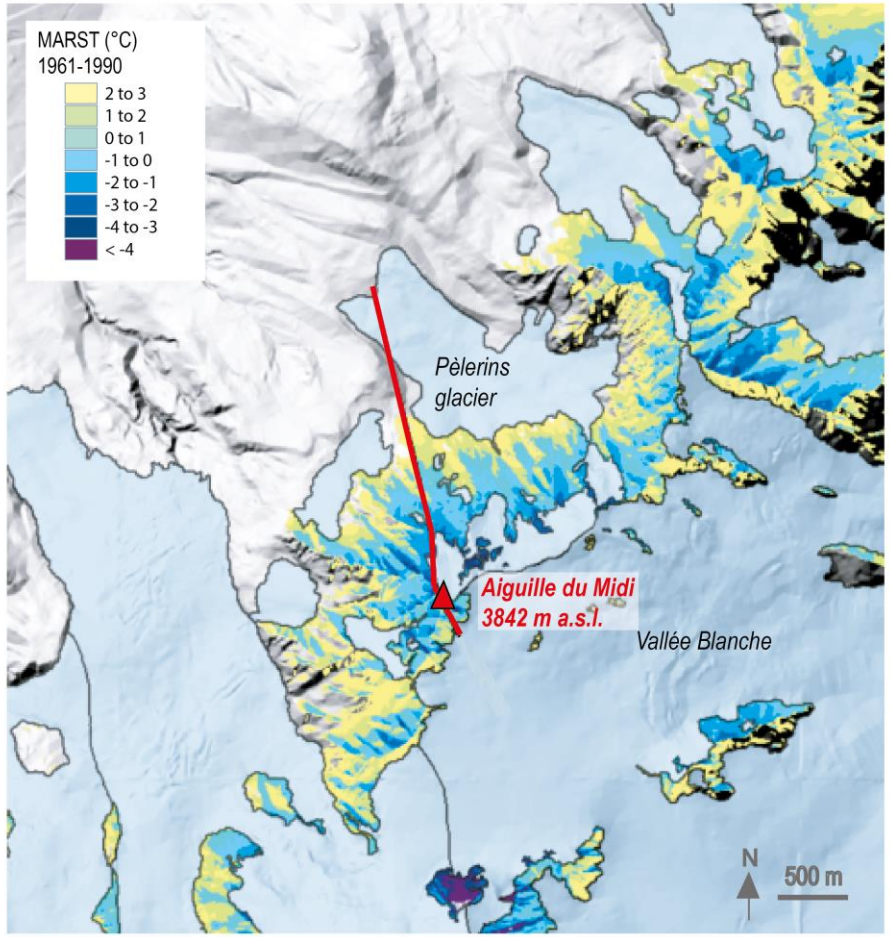


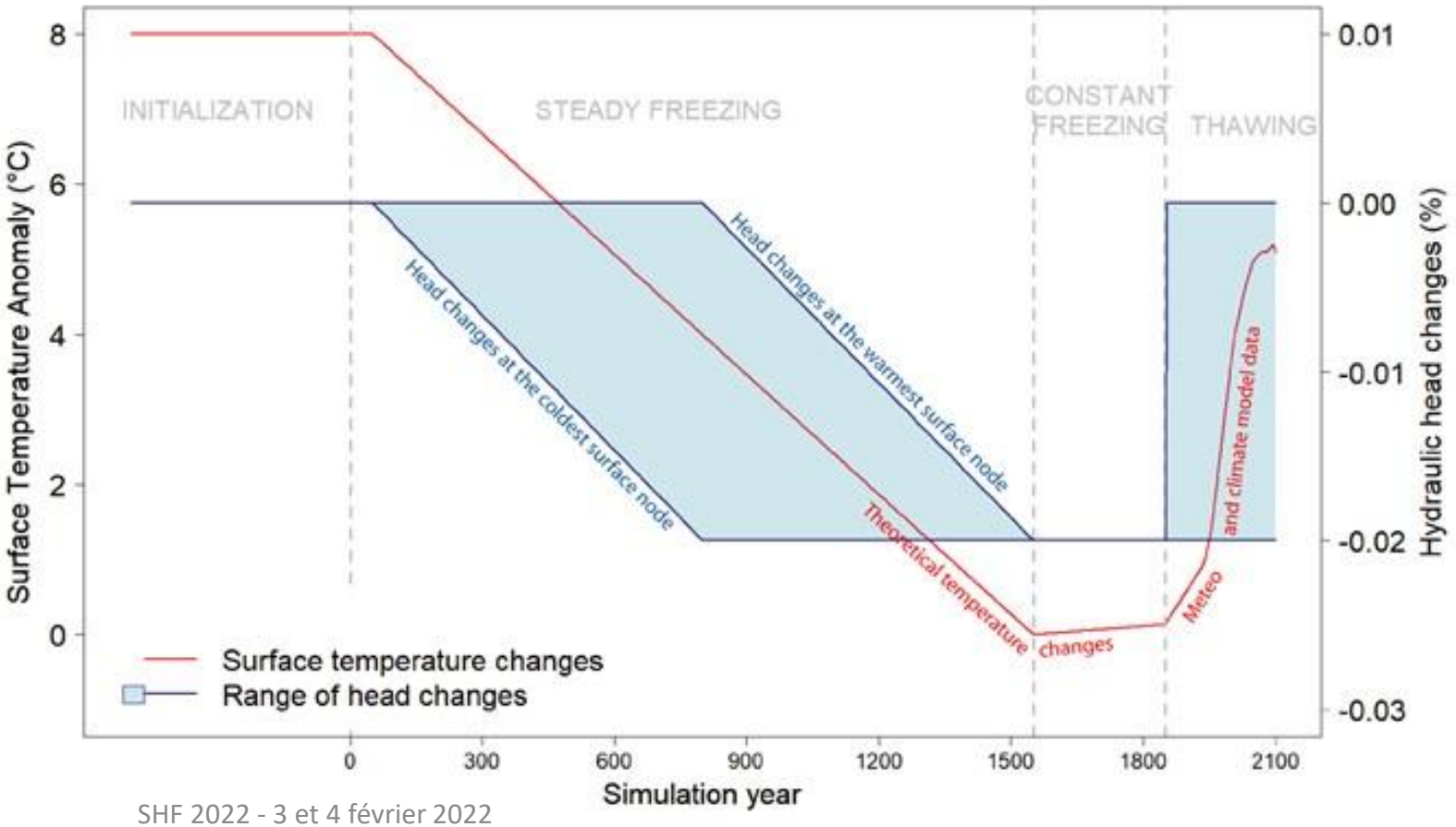
Chronique de température de surface (température de l'air et rayonnement incident potentiel)

+

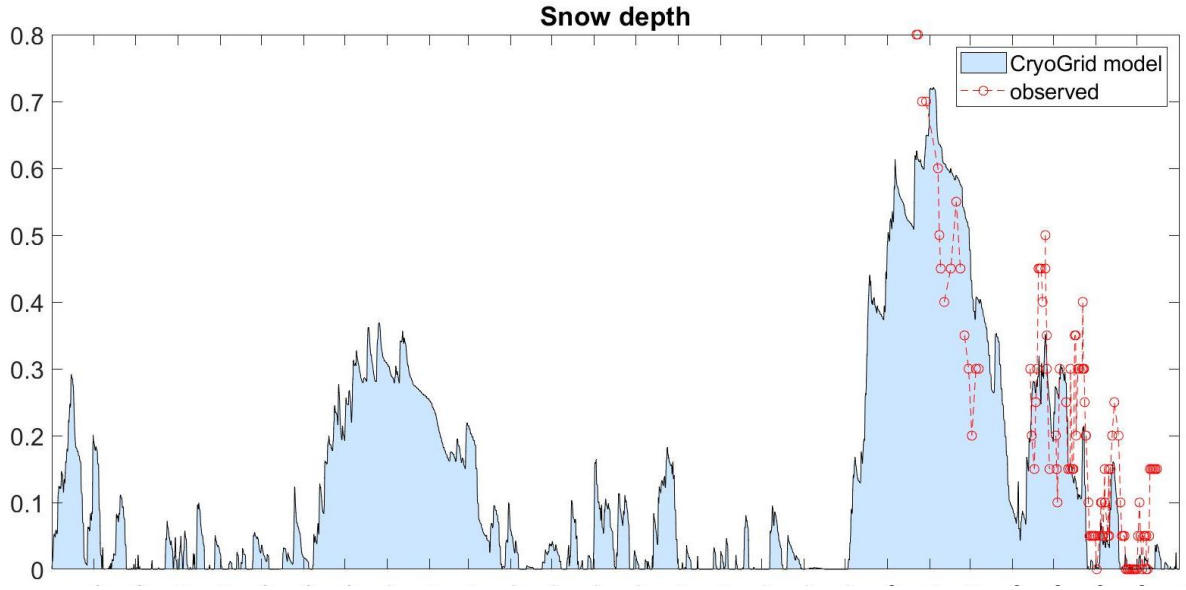
Conduction de la chaleur et chaleur latente

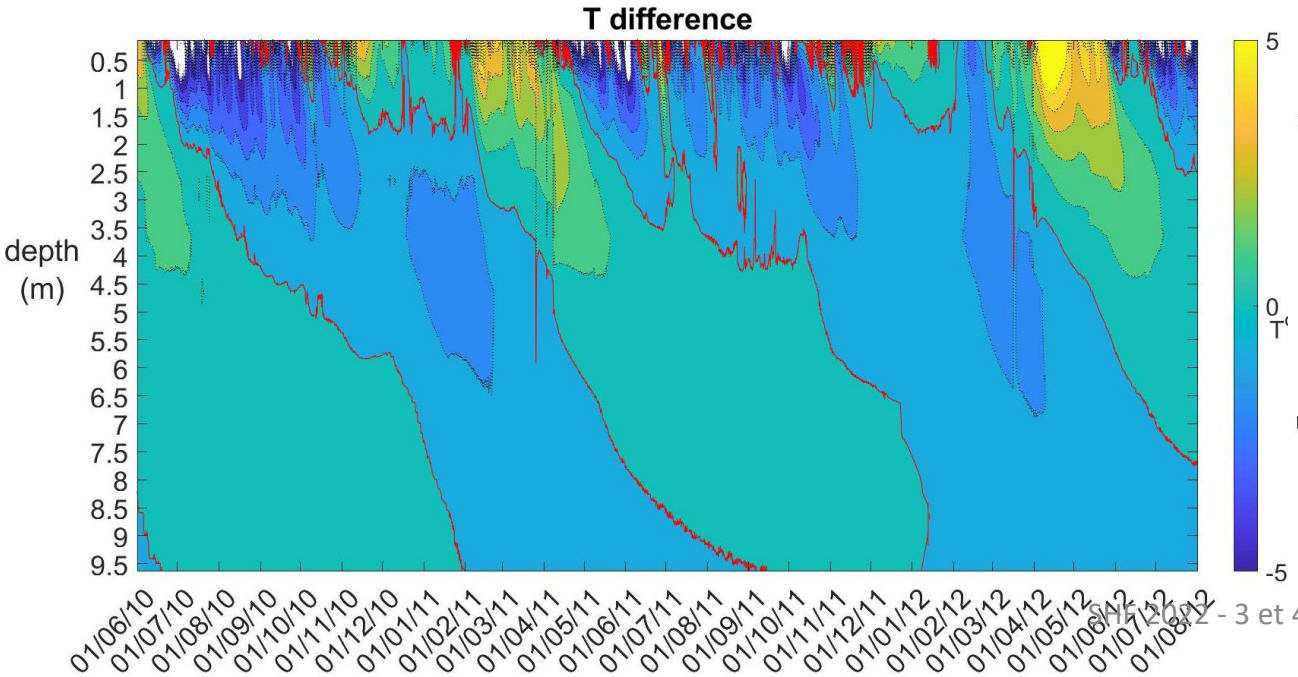
Forçage des processus thermiques et hydrologiques

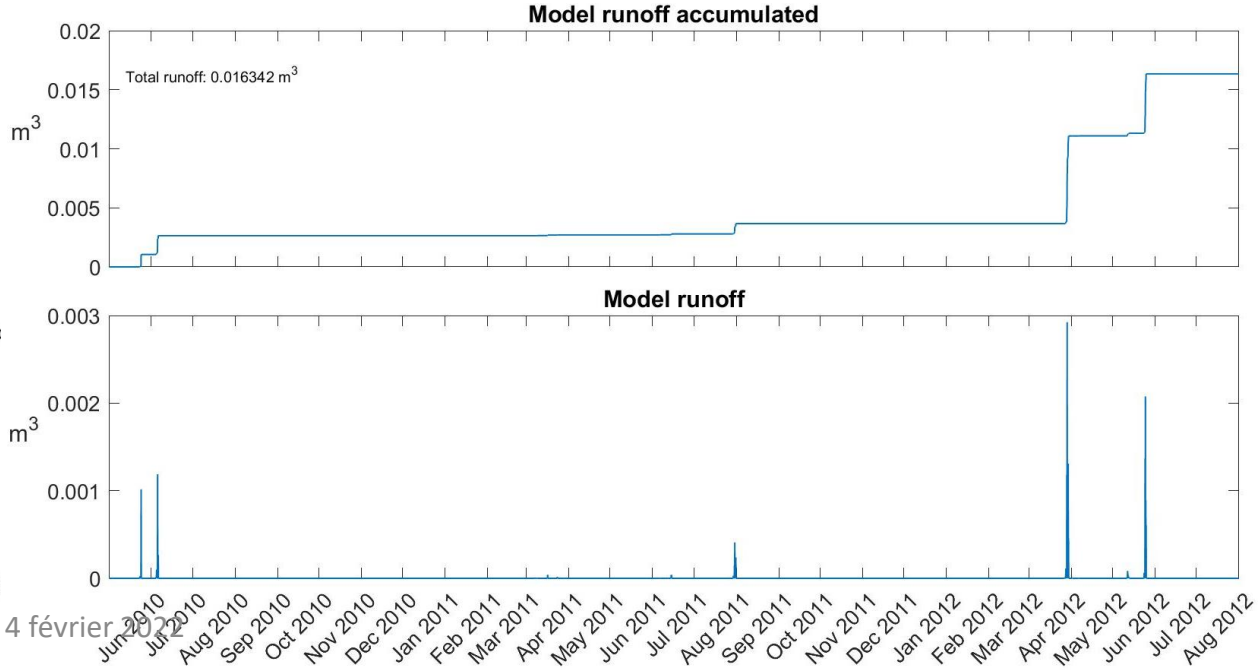




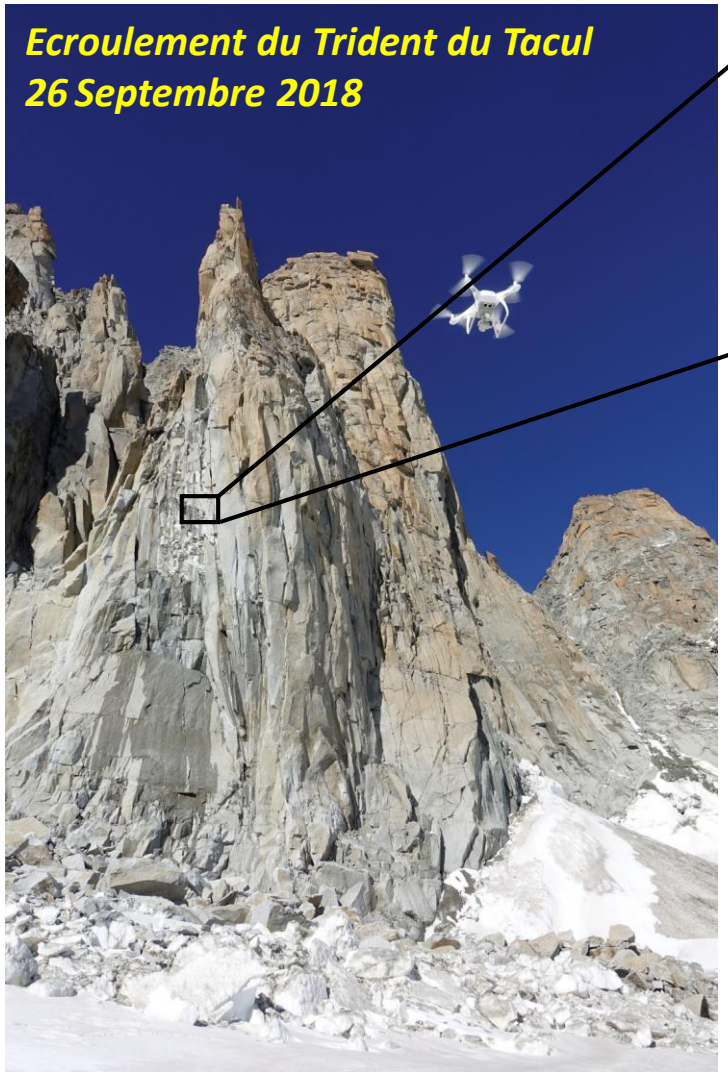
Travaux en cours : estimer la quantité d'eau pouvant s'infiltrer dans les parois



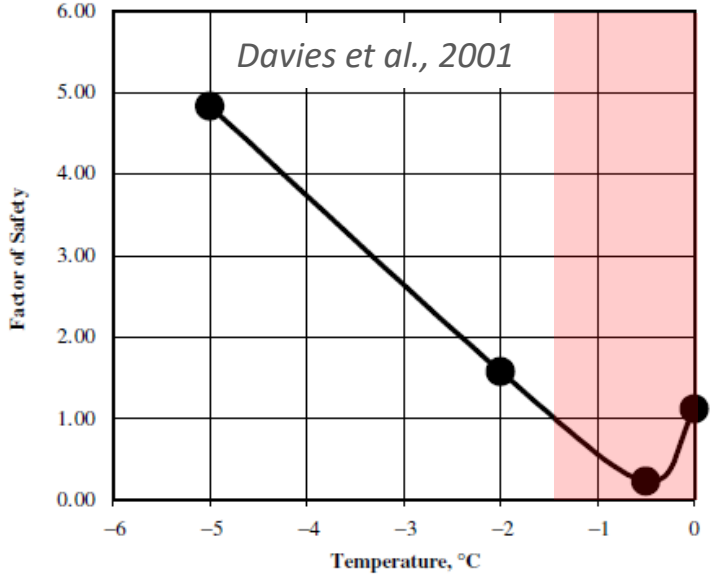
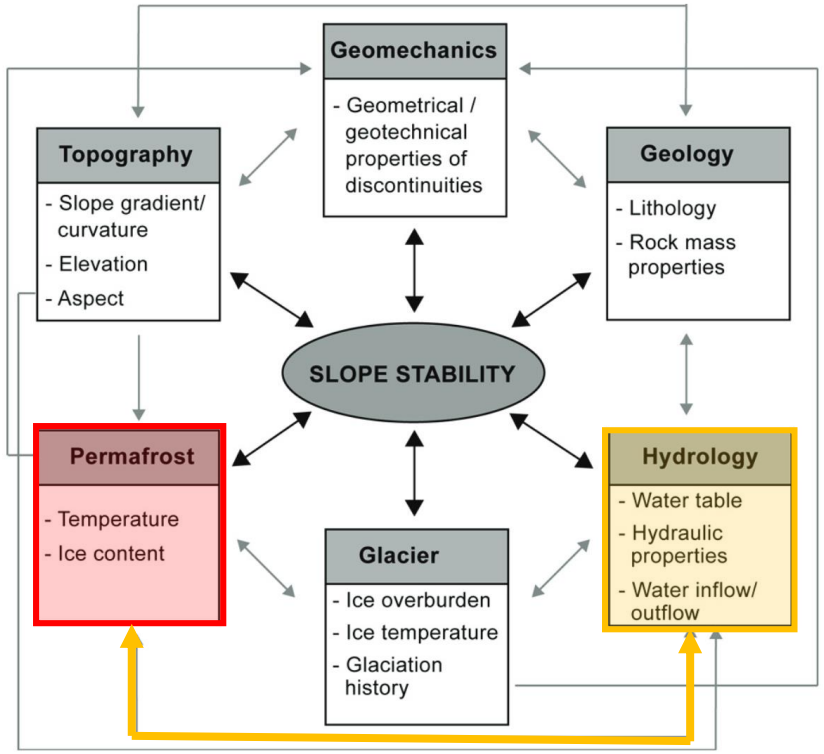




Lien entre permafrost et écroulements



Résistance au cisaillement d'un joint de glace dans une fracture



Fischer and Huggel, 2008