

Séminaire Scientifique et technique

Prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire

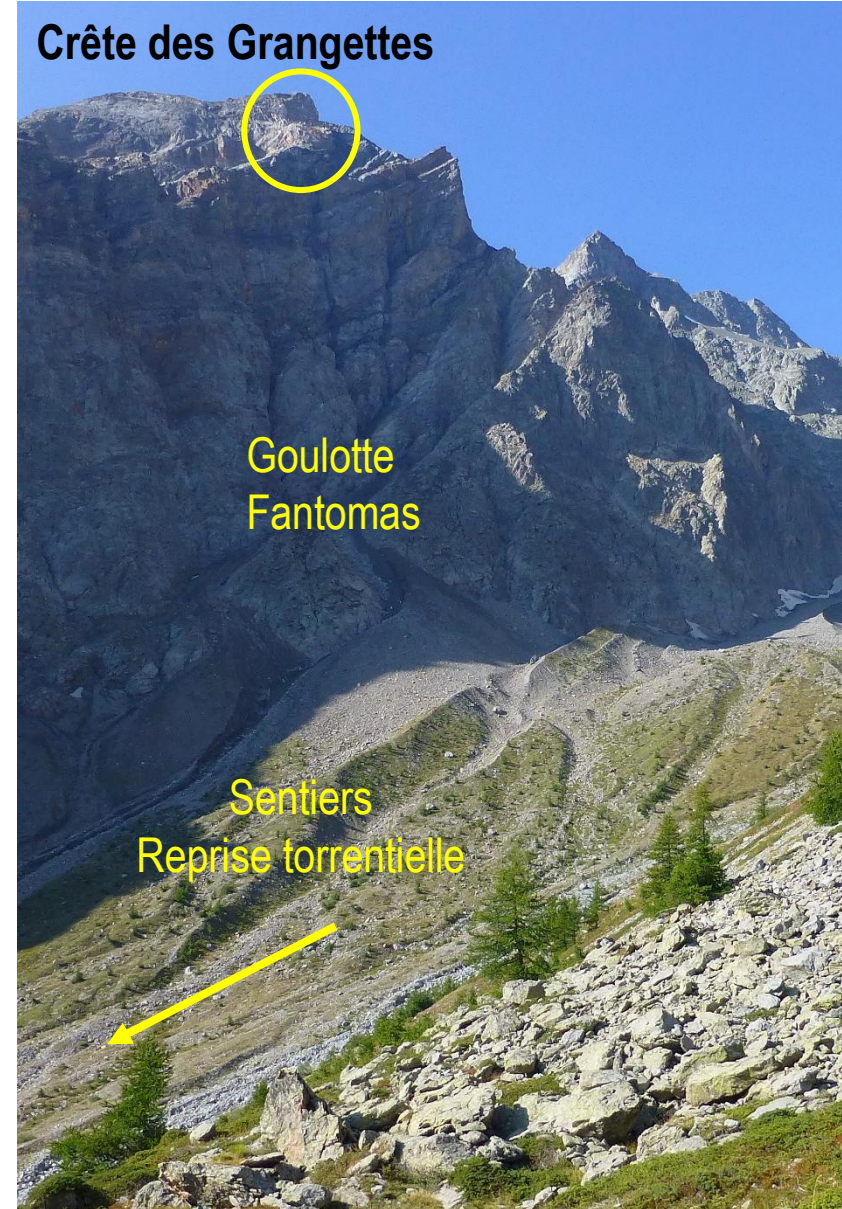


**Analyse des écroulements de 2020 au Vallon d'Étache (Haute Maurienne)
et à la Crête des Grangettes (Ecrins) :
les dernières avancées de la recherche sur le permafrost des versants raides**

**Florence Magnin, Josué Bock, Maëva Cathala
Ludovic Ravanel, Philip Deline, Matan Ben-Asher,
Xavier Bodin, Stéphane Jaillet, Laurent Astrade,
Guillaume Chambon et Thierry Faug**



- 18 juin 2020
- 225 000 m³
- 3126 m
- Face NW



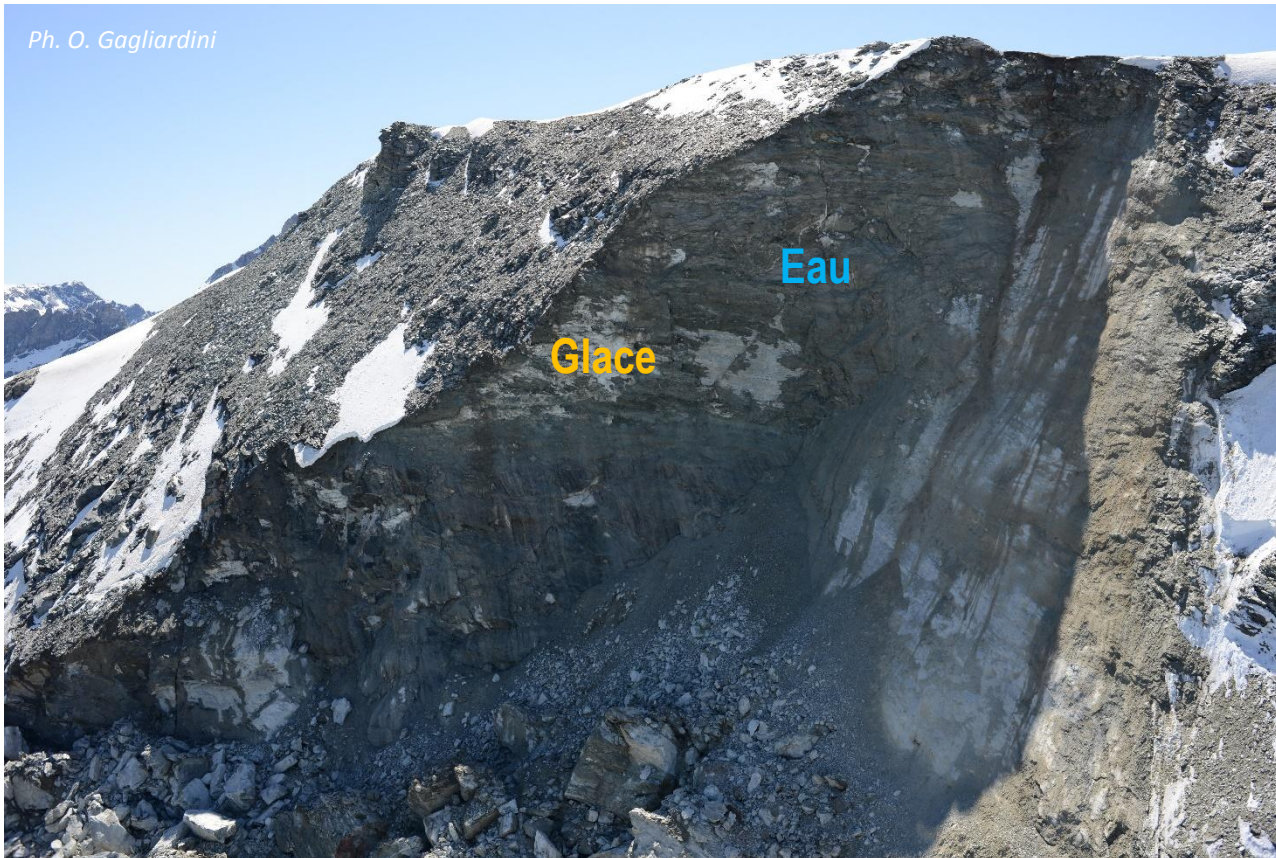
- 17 septembre 2020
- 20 décembre 2020
- juillet 2021
- 35 000 m³
- 3080 m
- Face N

Des évènements provoqués par la dégradation du permafrost ? Quels mécanismes de déclenchement favorisés par le permafrost ?

Permafrost (= pergélisol) : terrain dont la $T^{\circ}\text{C}$ est en permanence $< 0^{\circ}\text{C}$

Dégradation du permafrost : approfondissement du dégel saisonnier (couche active), augmentation de la $T^{\circ}\text{C} > 0^{\circ}\text{C}$

Ph. O. Gagliardini



Glace

Eau

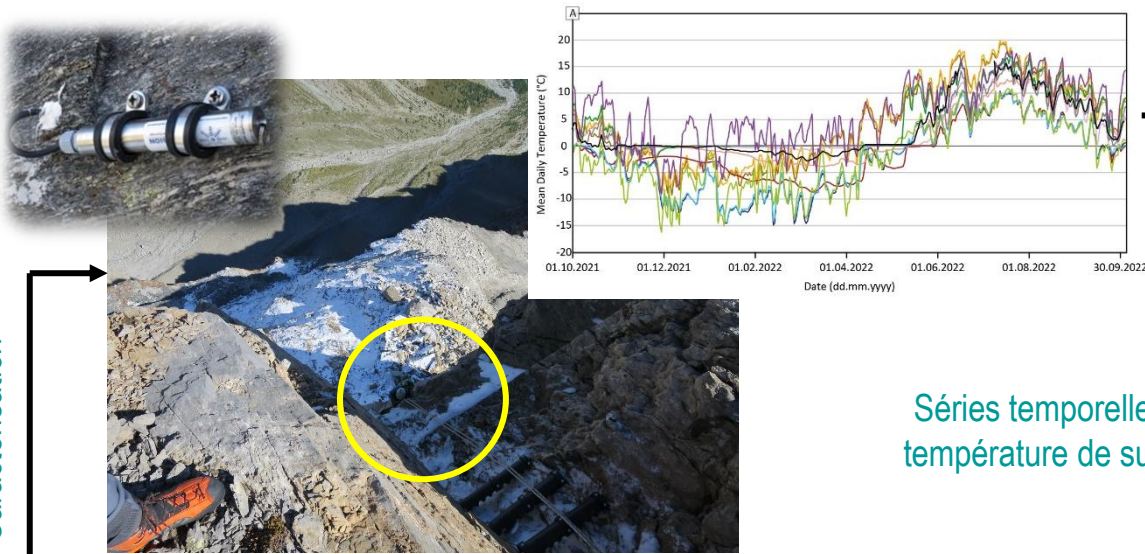


Eau

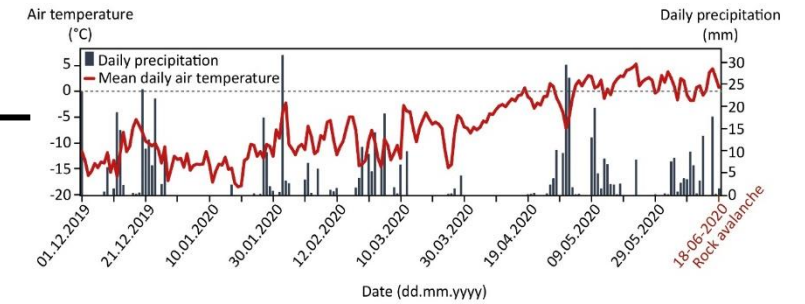
Glace

Ph. PGHM Briançon

Mesures de température *in-situ* (au moins 1 an, pas de temps horaire)



Analyse données météo locales



Caractérisation

Séries temporelles de température de surface

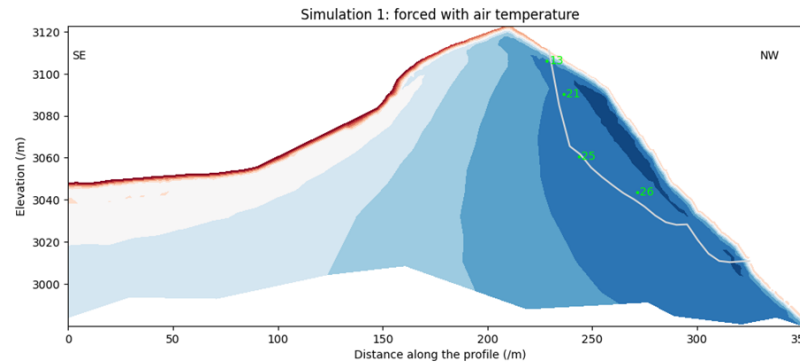
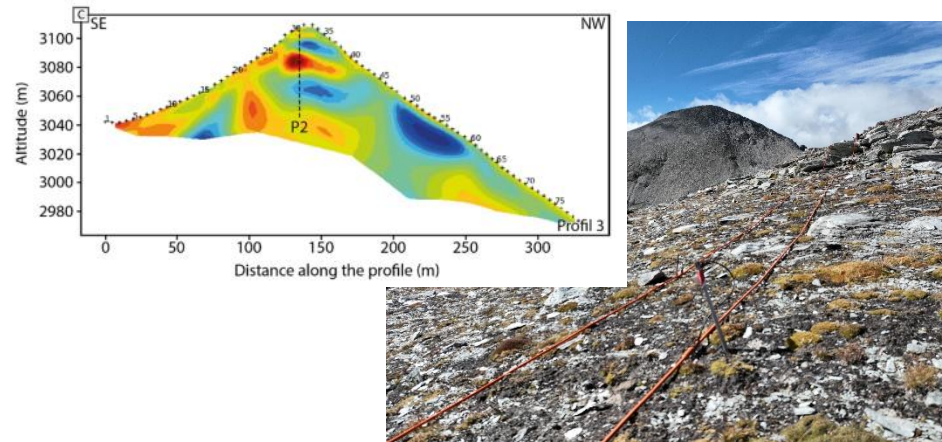
Caractérisation des conditions pré-événement

Sondages géoélectriques

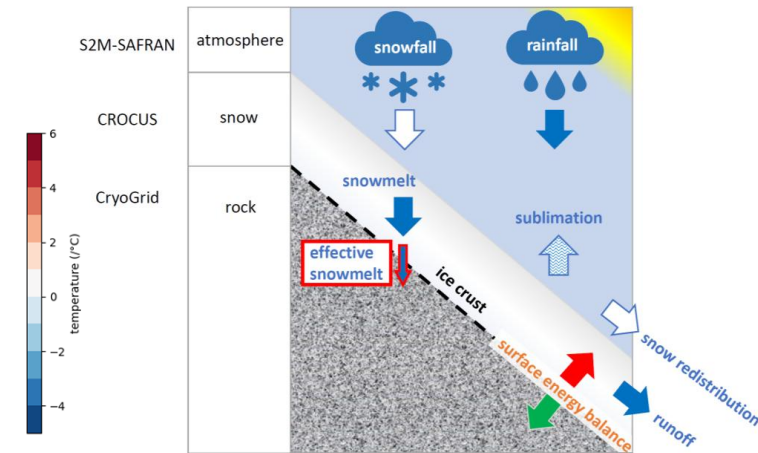
Evaluation

Modèle de transfert thermique

Modèle bilan d'énergie et hydrologique

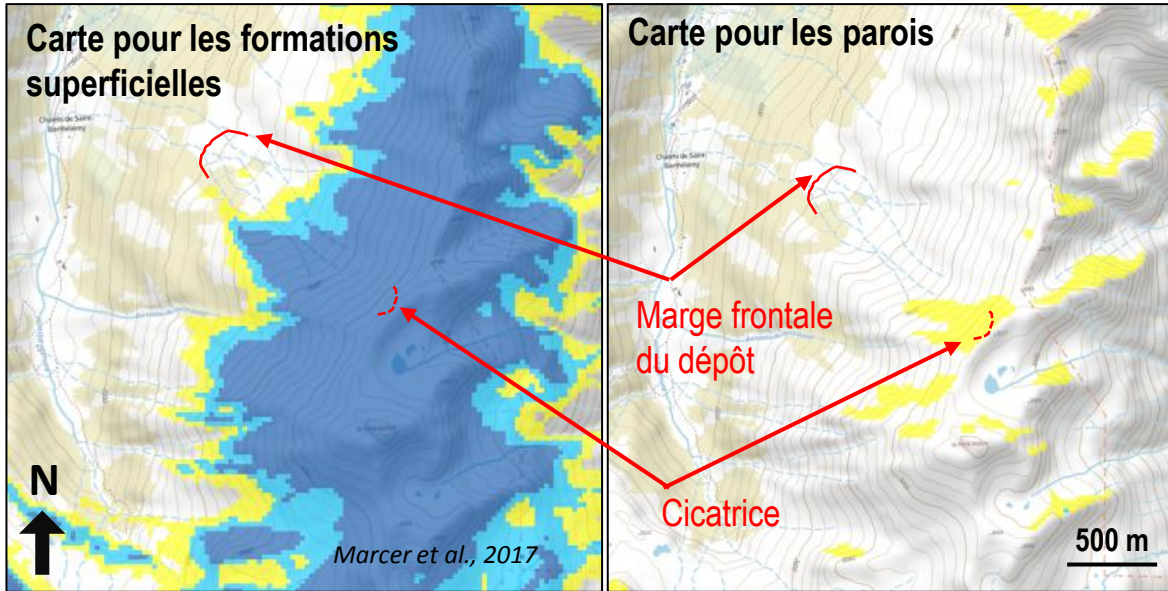


Evolution et état du permafrost



Ben-Asher et al., 2023

Vallon d'Étache : caractérisation préliminaire

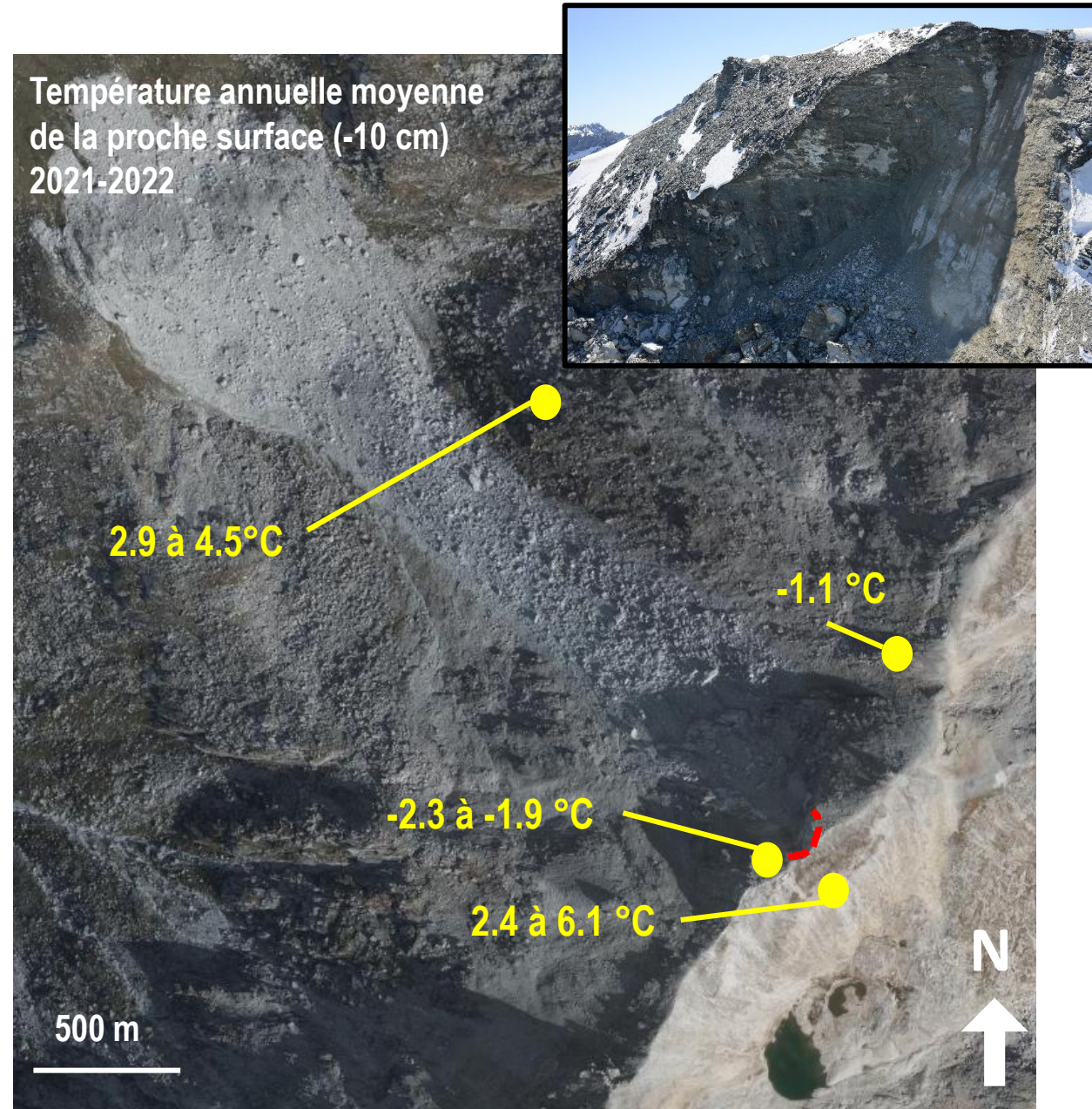


Conditions de permafrost

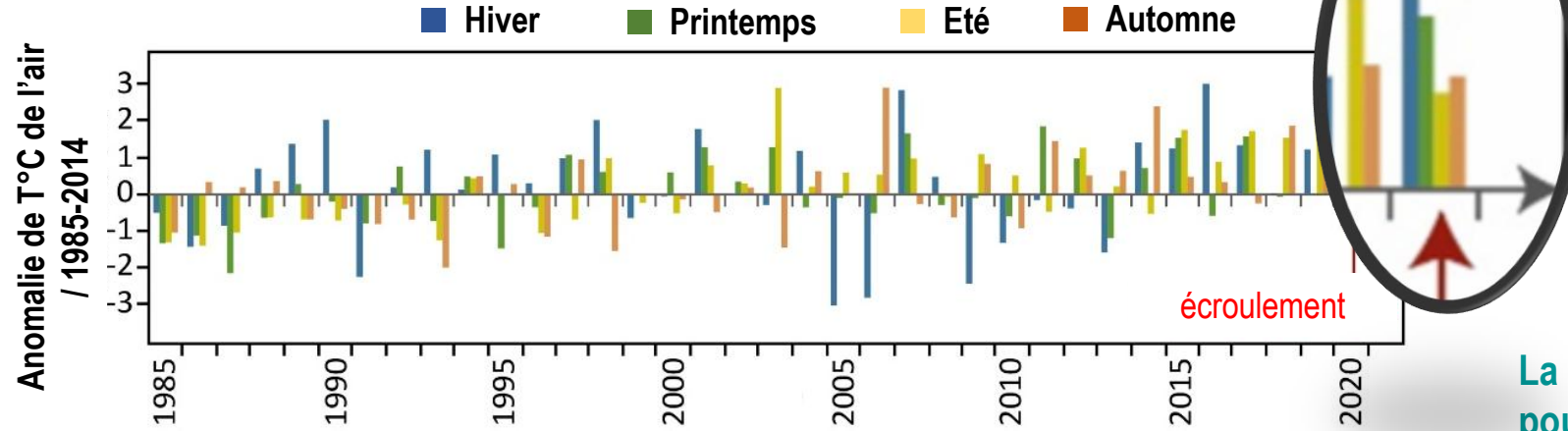
■ Continu et froid ■ Discontinu et tempéré ■ Sporadique (fractures englacées)

→ Conditions largement favorables à la présence de permafrost en face N, face S pas favorable à la présence de permafrost

→ Aucune des cartes existantes n'est réellement représentative des conditions de permafrost



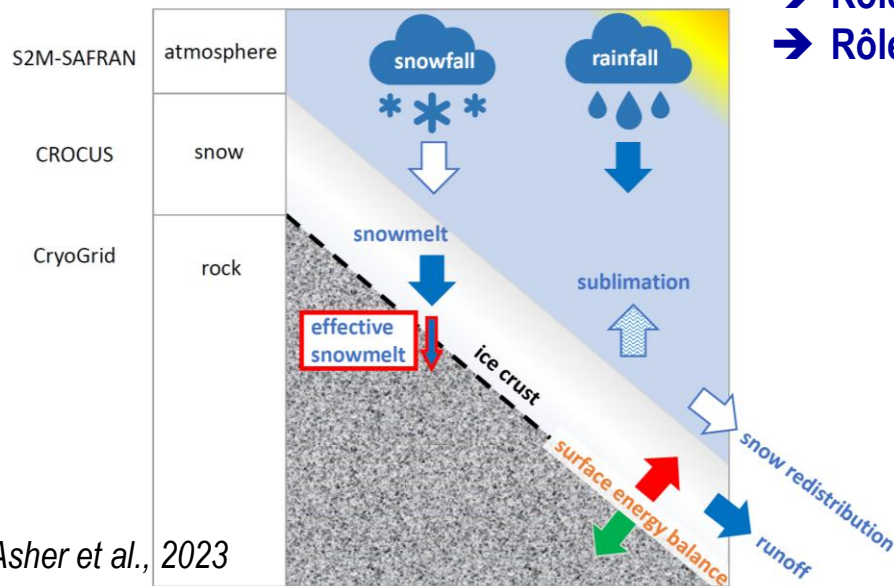
Vallon d'Étache : conditions pré-événement



- **Été 2019** : +2.1°C (le 2^{ème} + chaud) **+2.7°C**
- **Automne 2019** : +1.3°C **le + chaud (+2.6 °C)**
- **Hiver 2020** : +2.9°C **le + chaud (+5.7°C)**
2^{ème} hiver le + enneigé
- **Printemps 2020** : +1.9°C (le + chaud) **+4°C**

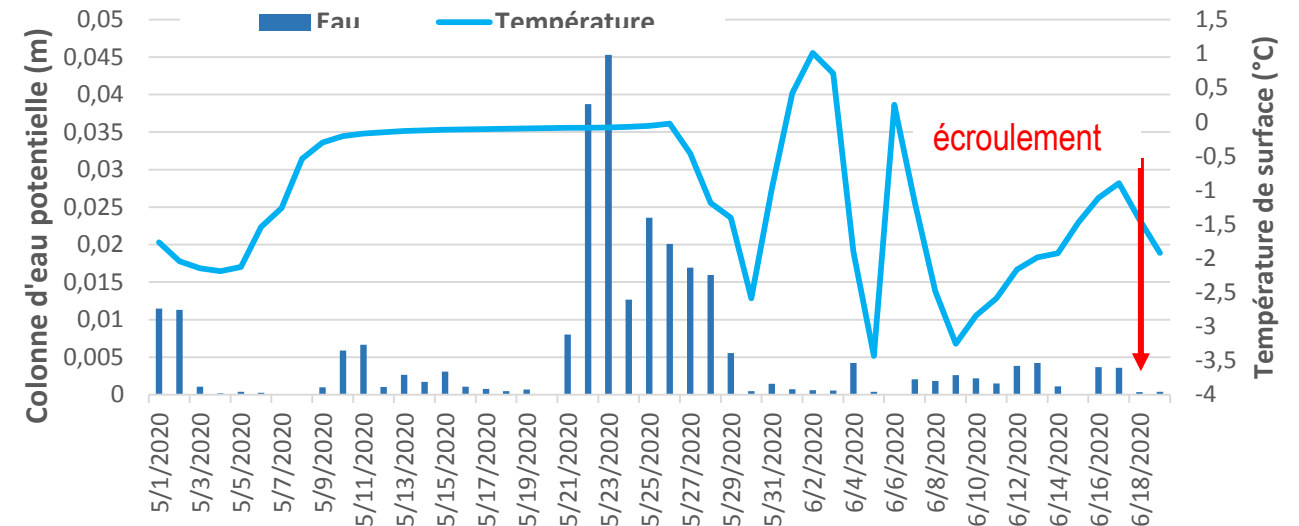
La + grande anomalie de "colonne d'eau" disponible pour l'infiltration au printemps depuis 1985 (+15 cm)

Modèle bilan d'énergie et hydrologique

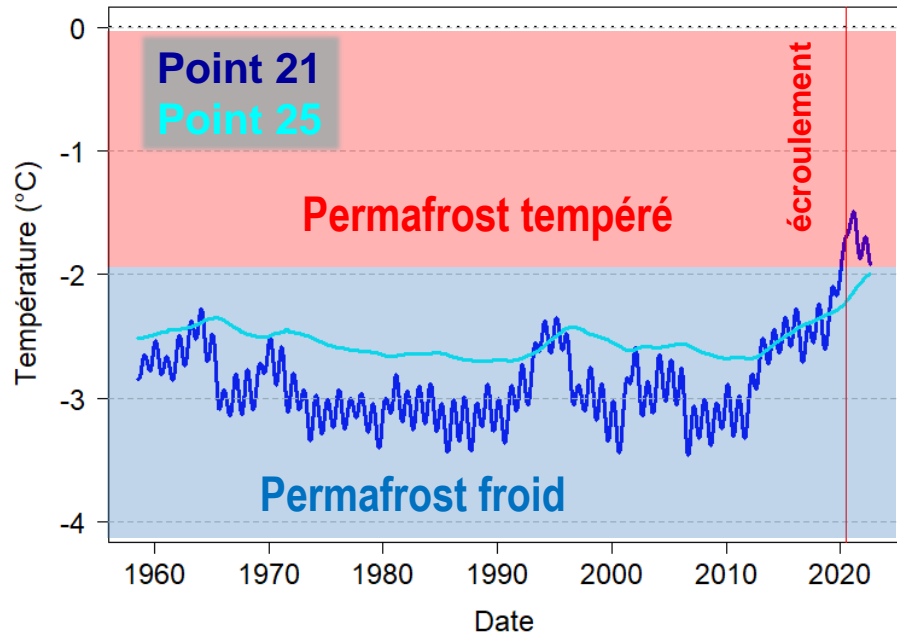
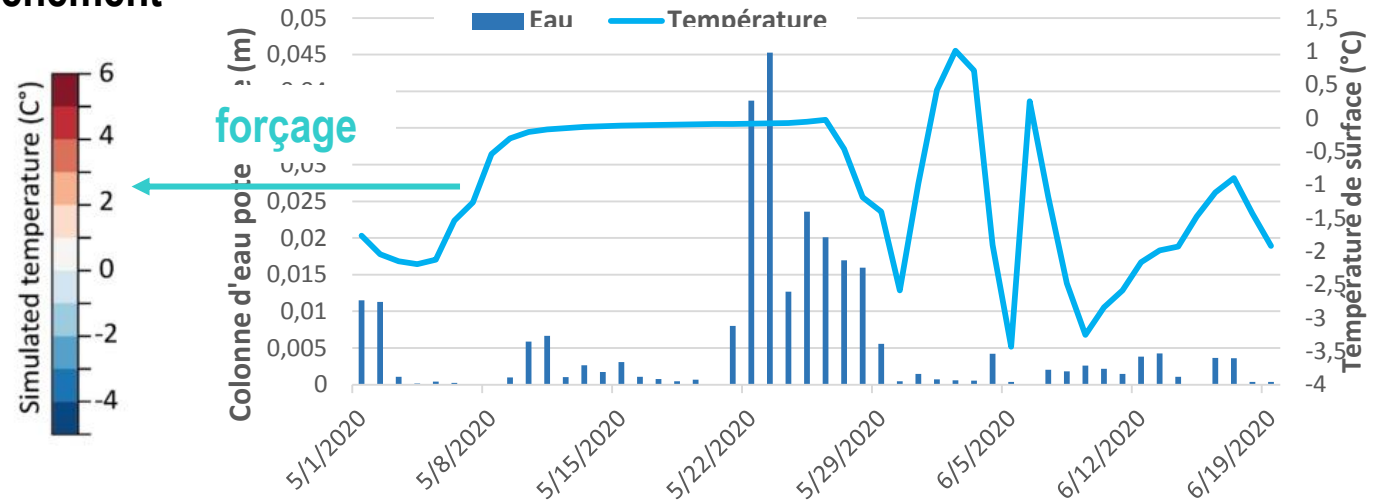
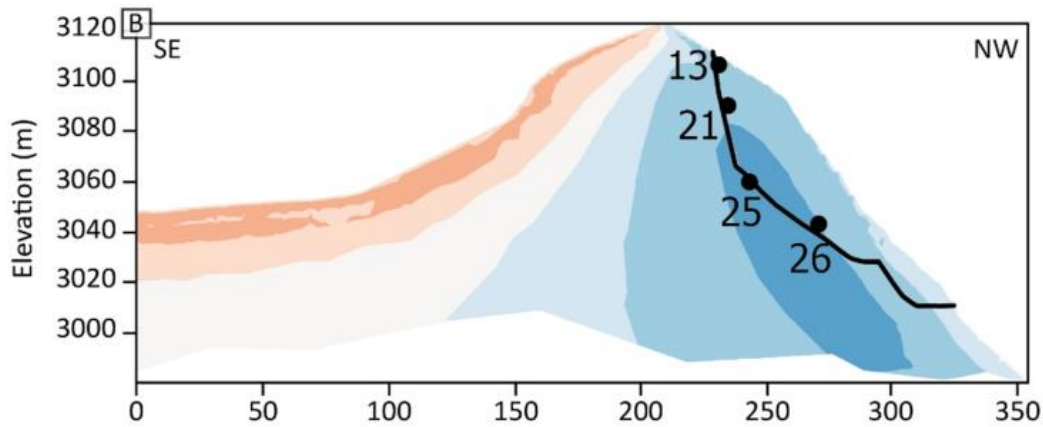


Ben-Asher et al., 2023

- ➔ Rôle probable des températures élevées : réchauffement du permafrost
- ➔ Rôle des infiltrations d'eau : pressions hydrostatiques, fusion de la glace des fractures

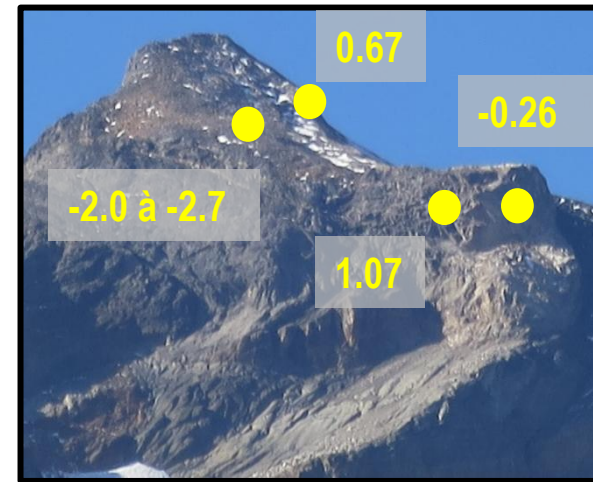
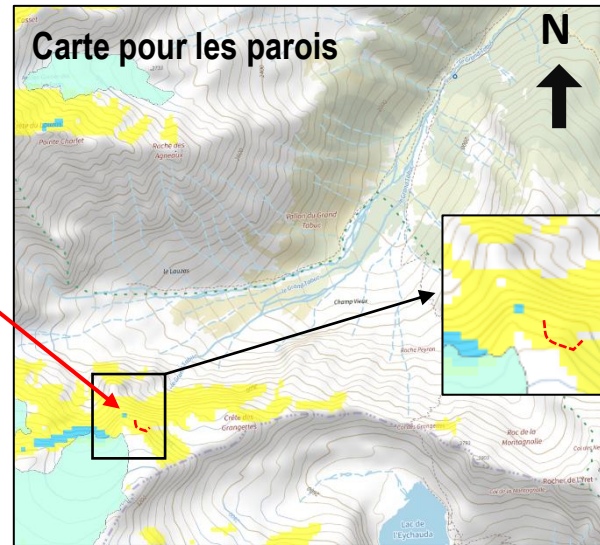
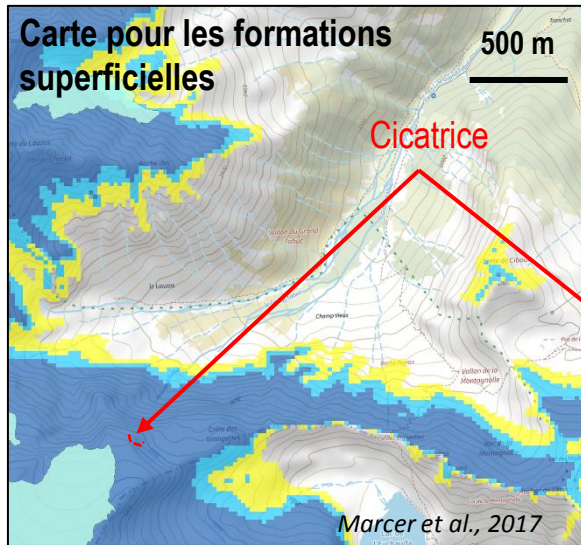


Vallon d'Étache : simulation de la température avant l'évènement

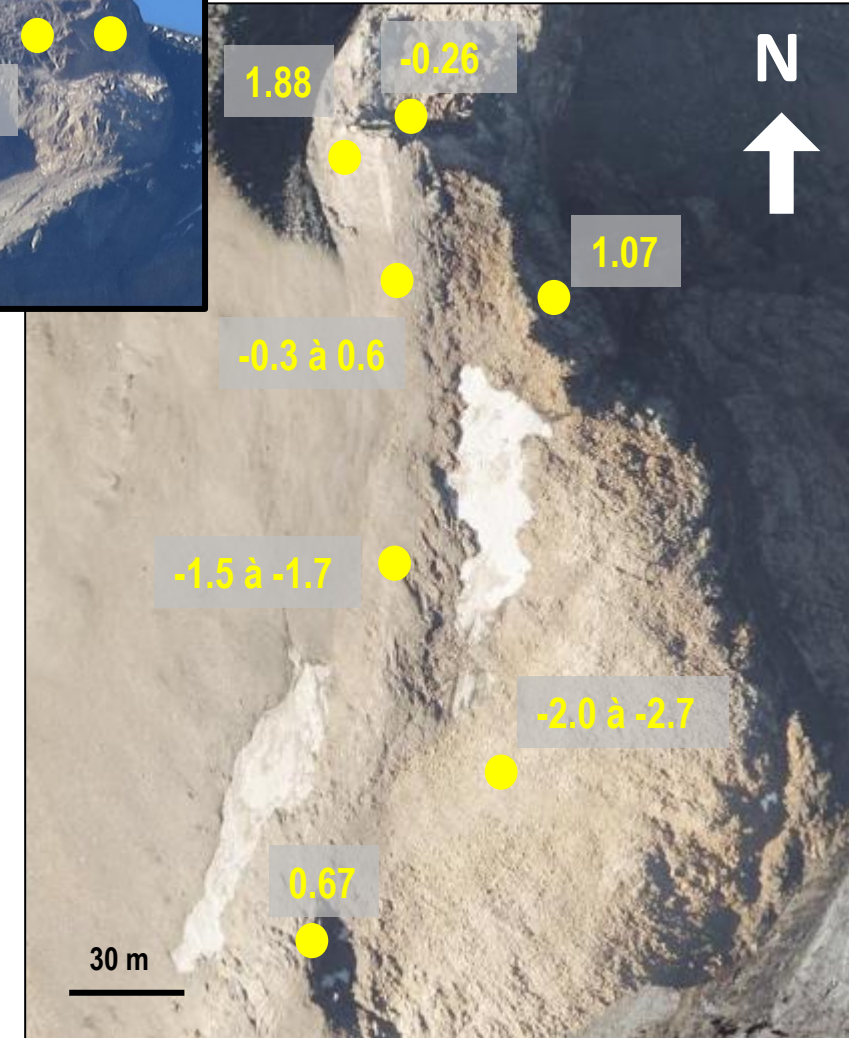


- ➔ Permafrost principalement sous la face nord-ouest
- ➔ Réchauffement progressif et marqué depuis 2012
- ➔ Permafrost “froid” en transition vers du permafrost “tempéré”
- ➔ Ecroulement qui s’est produit dans les conditions les plus chaudes modélisées en profondeur mais toujours en état de gel

Crête des Grangettes : caractérisation préliminaire



Température annuelle moyenne de la proche surface (-10 cm) 2021-2022



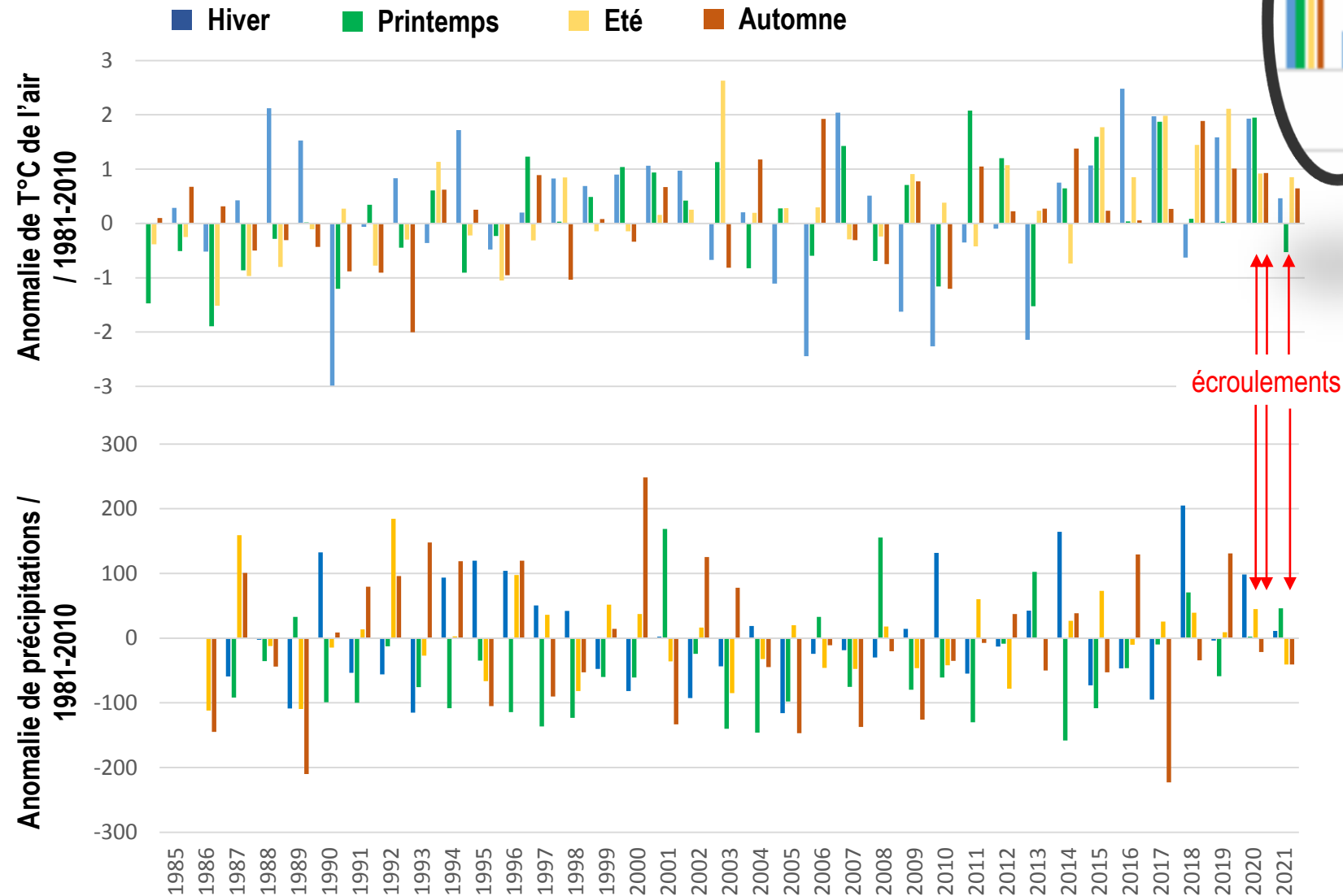
Conditions de permafrost

■ Continu et froid ■ Discontinu et tempéré ■ Sporadique (fractures englacées)

➔ Conditions favorables à la présence de permafrost principalement en face N et sur la croupe (formations superficielles)

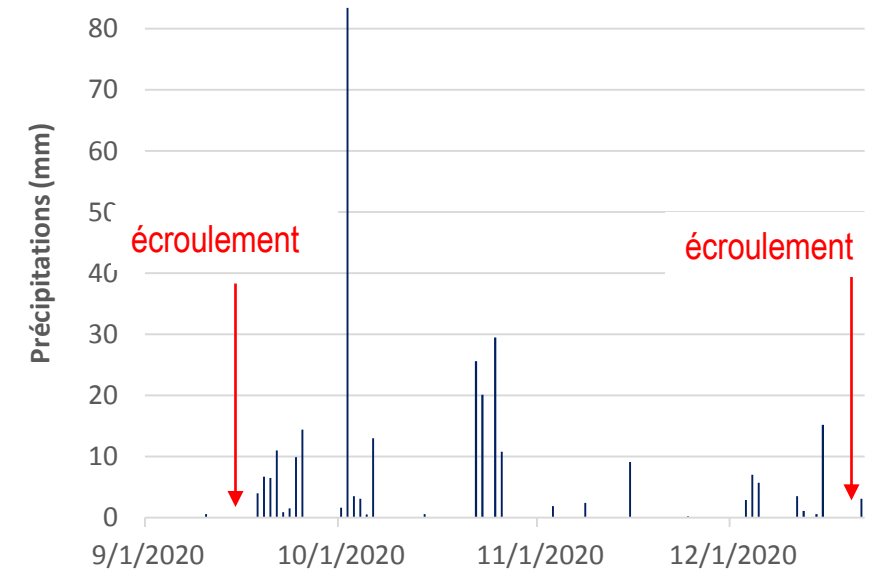
➔ Carte de permafrost trop pessimiste en paroi, trop optimiste dans les formations superficielles

Crête des Grangettes : conditions pré-événement

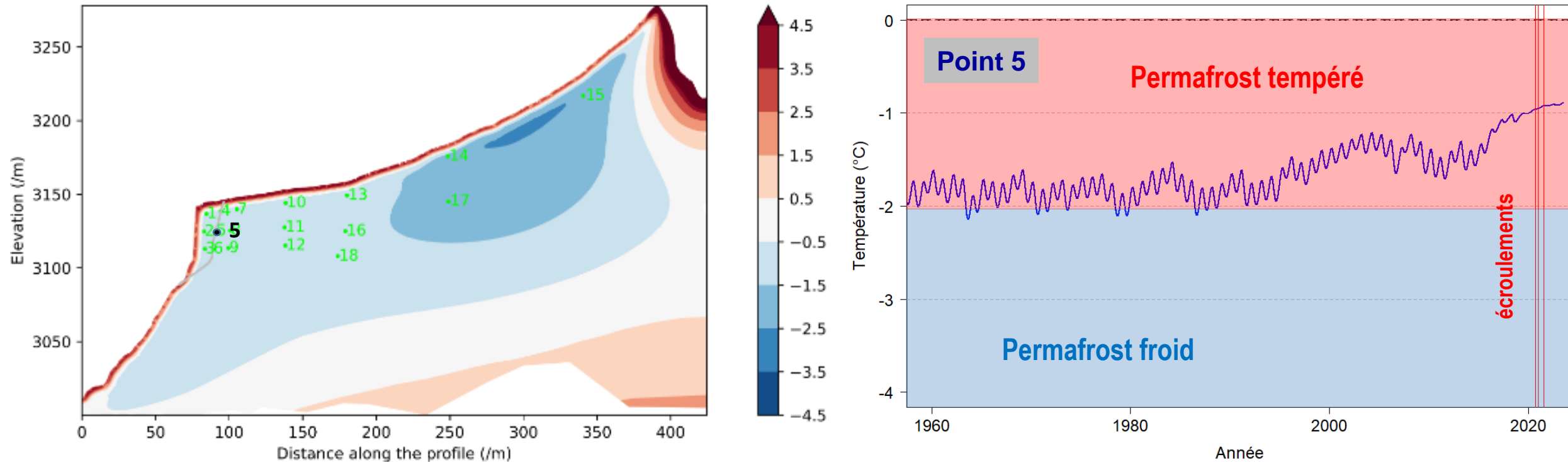


- **Hiver 2020** : le 4^{ème} + chaud, relativement humide/enneigé
- **Printemps 2020** : le + chaud, précipitations dans la moyenne
- **Été 2015-2020** : les plus chauds après 2003, relativement humide
- **Automne 2020** : relativement chaud, relativement sec
- **Hiver 2021** : dans la moyenne
- **Printemps 2021** : relativement humide

➔ Pas de facteur de déclenchement évident, hormis la chaleur remarquable du printemps 2020 et des étés depuis 2015



Crête des Grangettes : simulation de la température avant les évènements



➔ Réchauffement progressif depuis les années 1990s, réchauffement marqué depuis 2015

➔ Permafrost de type tempéré s'approchant du point de fusion

➔ Ecroulements qui se sont produit dans les conditions les plus chaudes modélisées en profondeur ➔ déclencheur

Analyse comparative et éléments de conclusions



Permafrost froid

→ Déclenchement favorisé par **infiltrations d'eau** : interaction avec la glace des fractures (pressions hydrostatiques, fusion) et favorisé par **réchauffement progressif mais marqué du permafrost**



Permafrost tempéré

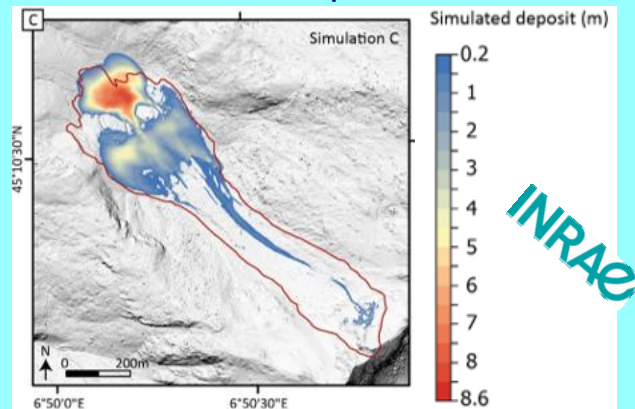
→ déclenchement par **baisse résistance de la glace des fractures, provoqué par réchauffement marqué**

Succesion d'évènements favorisée par **redistribution contraintes mécaniques et perturbation thermique post-évènements**

Cas d'étude relativement simple : 2D, formations superficielles limitées

Etude complémentaire : simulation de la propagation (collab. T. Faug et G. Chambon)

Cathala et al., en révision, Earth Surface Processes and Landforms



Cas d'étude complexe : flux pluridimensionnels (face N, E et W, croupe), formations superficielles (circulations d'air)

Dépôts difficilement identifiables → limite aux simulations de propagation

- Besoin d'améliorer les cartes de permafrost alpin (versants raides aux morphologies et couvertures de surface complexes)
- Besoin de mieux intégrer les processus associés aux fractures (infiltrations, englacement) dans les modèles de permafrost

Séminaire Scientifique et technique

Prévention des risques d'origine glaciaire et périglaciaire



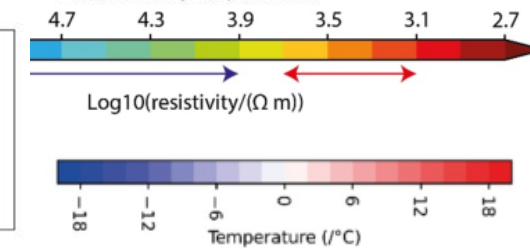
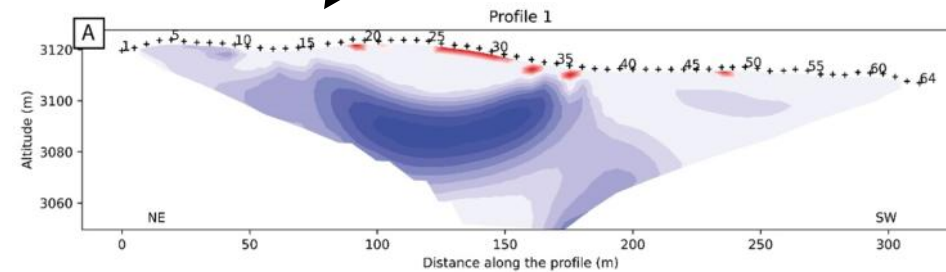
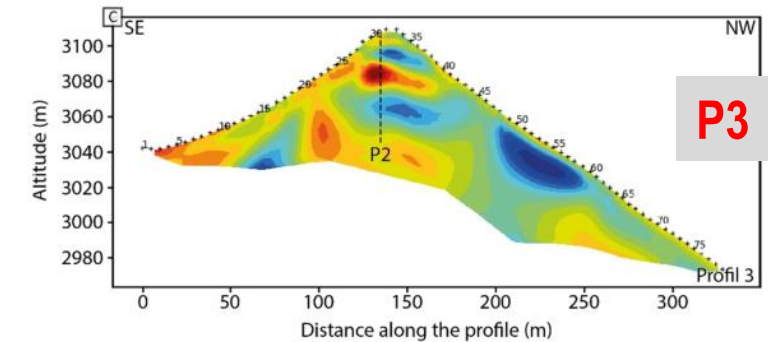
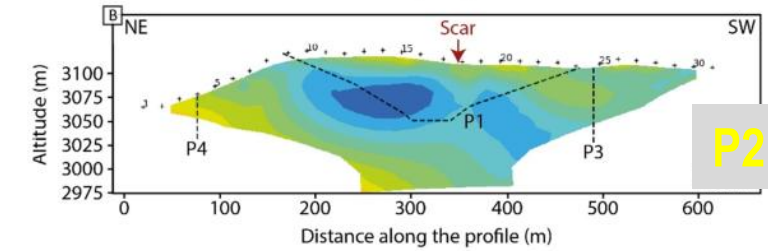
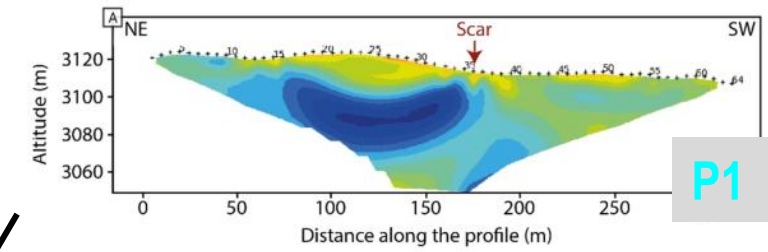
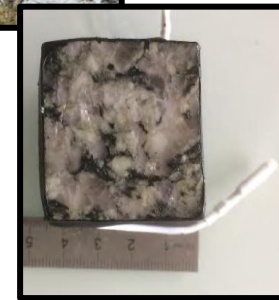
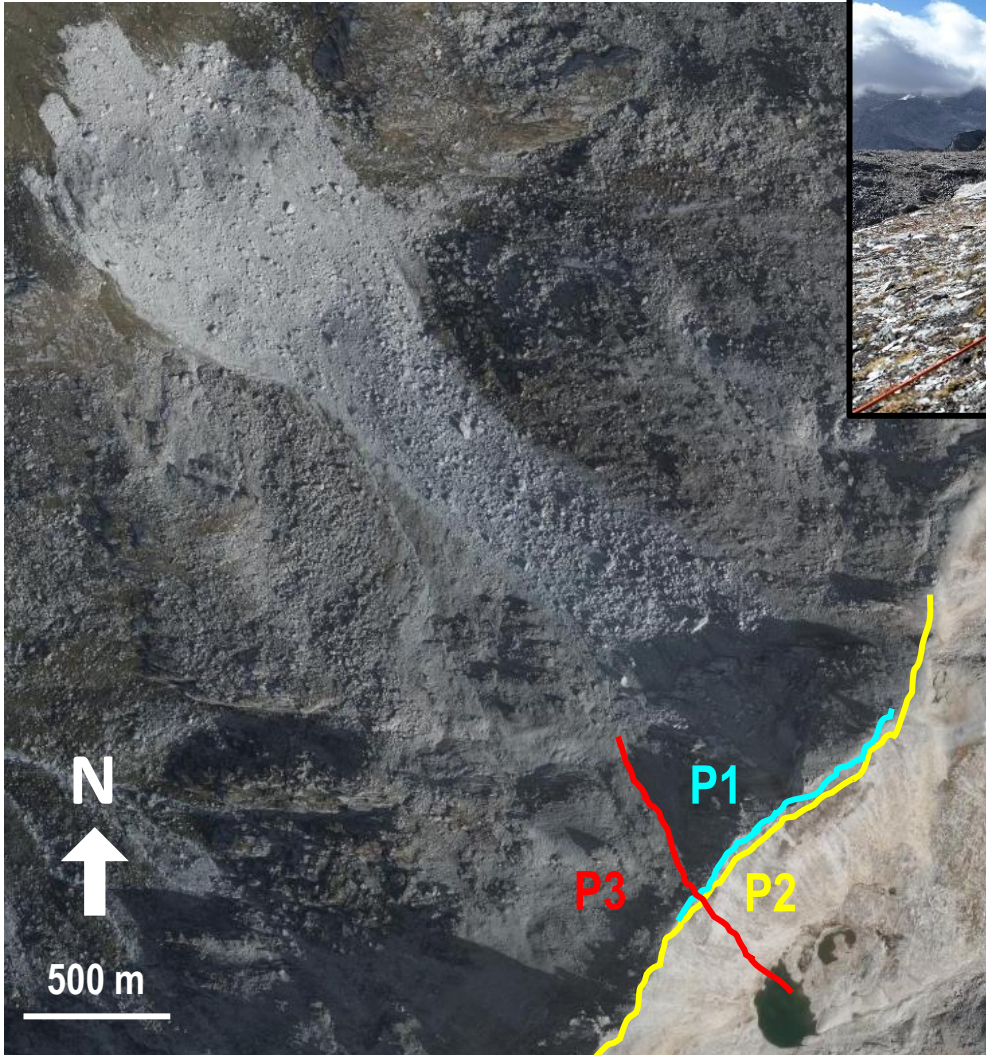
MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Merci pour votre attention
Questions ?

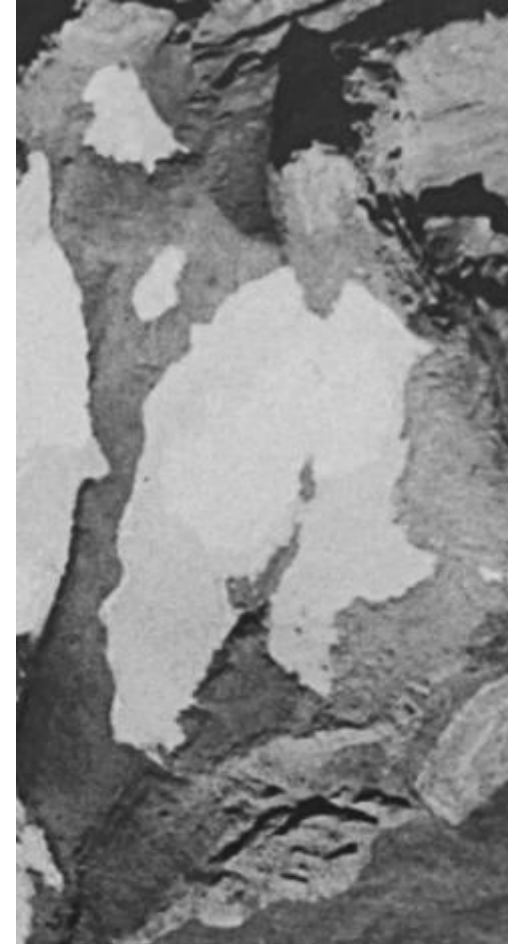
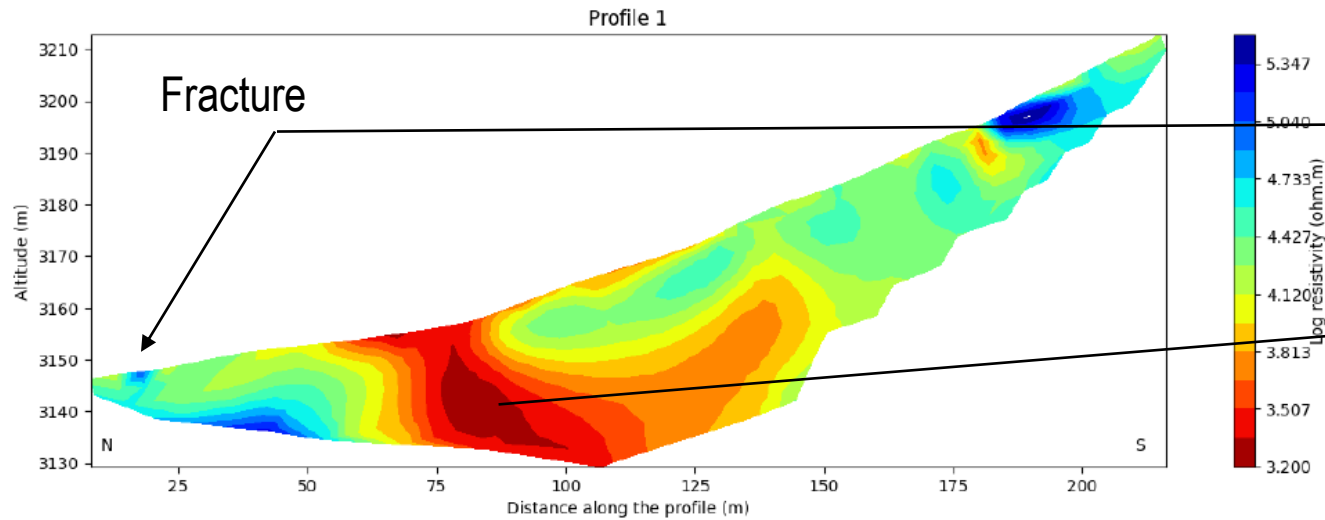
florence.magnin@univ-smb.fr

Vallon d'Étache : sondages géoléctriques



➔ Permafrost continu et possiblement relativement « riche en glace » autour de la cicatrice

Crête des Grangettes : sondages géoléctriques



- ➔ Secteur difficile à sonder : zone d'intérêt en bout de profil, des effets de bord probables
- ➔ Permafrost certain en amont, et très probable au niveau de l'éperon instable
- ➔ Zone de faible résistivité correspondant à un ancien névé permanent : a limité la formation du permafrost (effet isolant), secteur potentiellement saturé en eau