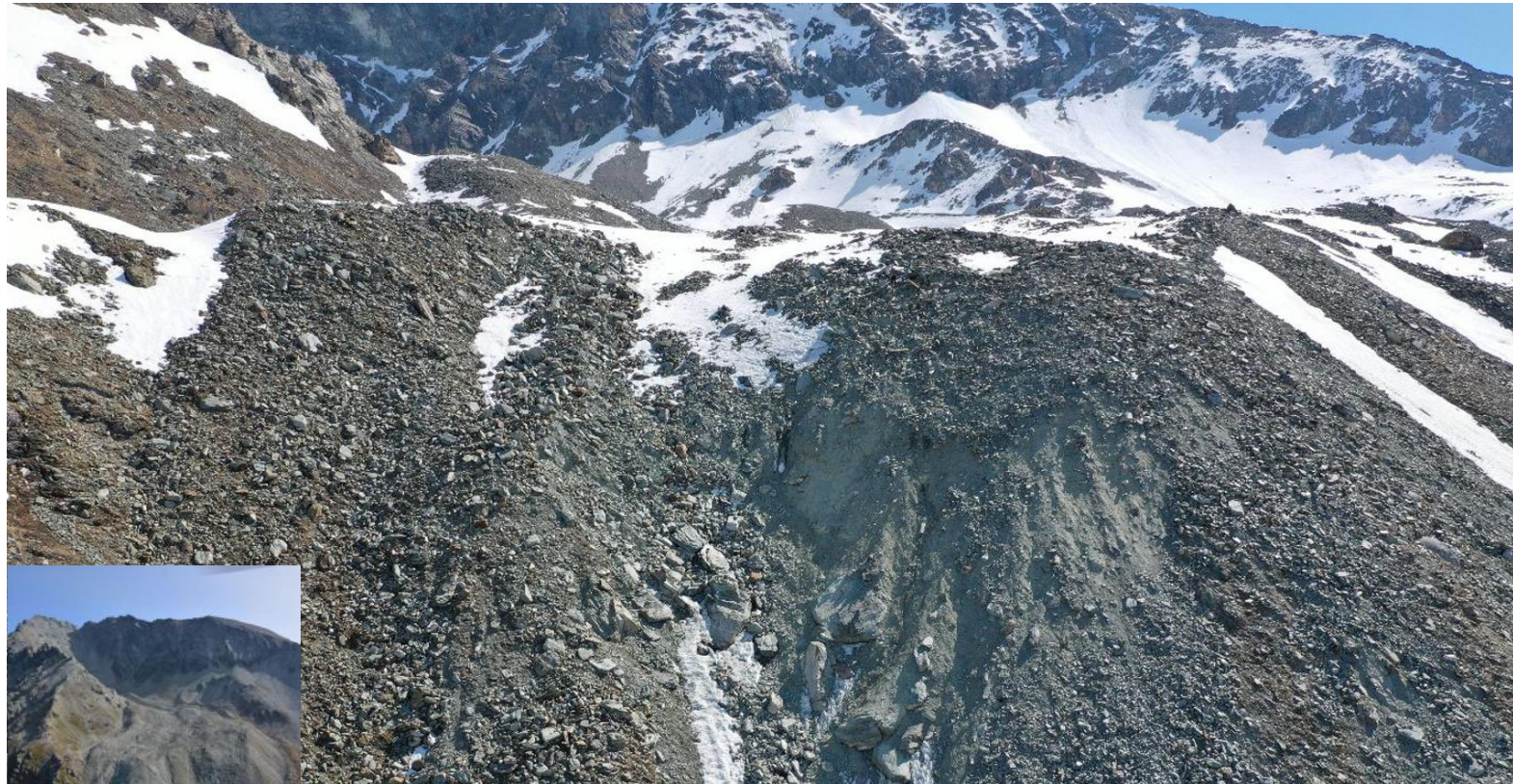


Journées Francophones de Mécanique des Roches et Géologie de l'Ingénieur Lille, 14-15 mai 2025

Glacier Bonnard



Glacier Bonnard. Photo : Eric Bardou.

Erika Prina Howald, Eric Bardou et Coralie Vicari

TABLE DES MATIÈRES

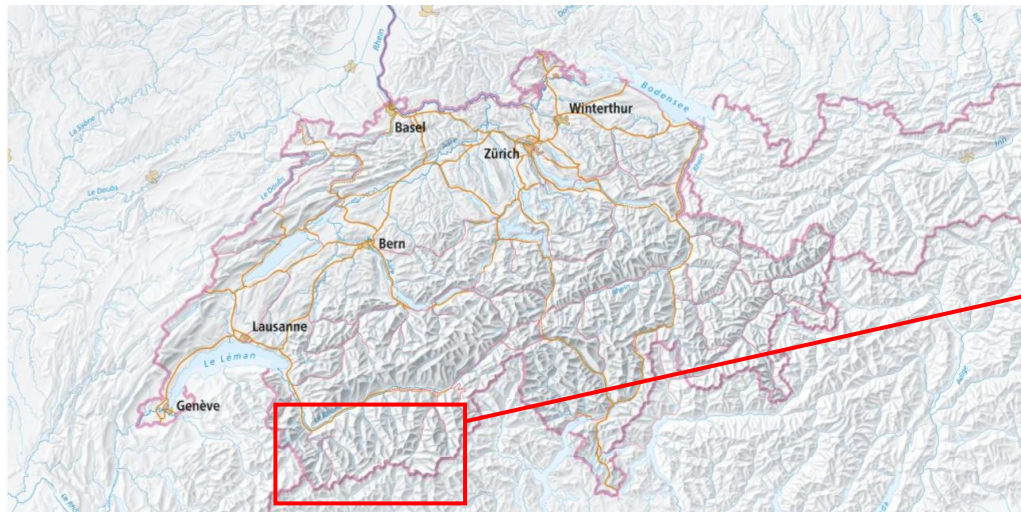
- CONTEXTE ET ENJEUX
- PRÉSENTATION DU SITE
- HISTORIQUE DES ÉVÉNEMENTS
- TECHNIQUES D'AUSCULTATION
- MESURES DE PROTECTION
- CONCLUSIONS
- RÉFÉRENCES

CONTEXTE ET ENJEUX

- Dans les régions accidentées comme la Suisse, les instabilités de versant telles que les glissements de terrain, les laves torrentielles, les chutes de blocs, les avalanches représentent fréquemment des menaces pour les populations et les infrastructures.
- Aujourd'hui, les changements climatiques ajoutent une pression supplémentaire sur des régions soumises à des instabilités de versant, car l'augmentation des épisodes météorologiques extrêmes se traduit par un accroissement de la fréquence, de l'ampleur et de l'intensité de phénomènes.
- La question de la connectivité entre la production de sédiments glaciaires et le développement de cheneaux de laves torrentielles n'est pas résolue.

PRÉSENTATION DU SITE

- Le glacier Bonnard se situe dans le Val d'Anniviers, canton du Valais (VS) en Suisse romande.
- Il surplombe le village de Zinal ($46^{\circ} 8.057' N$ et $7^{\circ} 39.411 E$).
- Il alimente les torrents Peterey et Tracuit, pouvant menacer le village de Zinal sous-jacent lors d'épisodes de laves torrentielles.



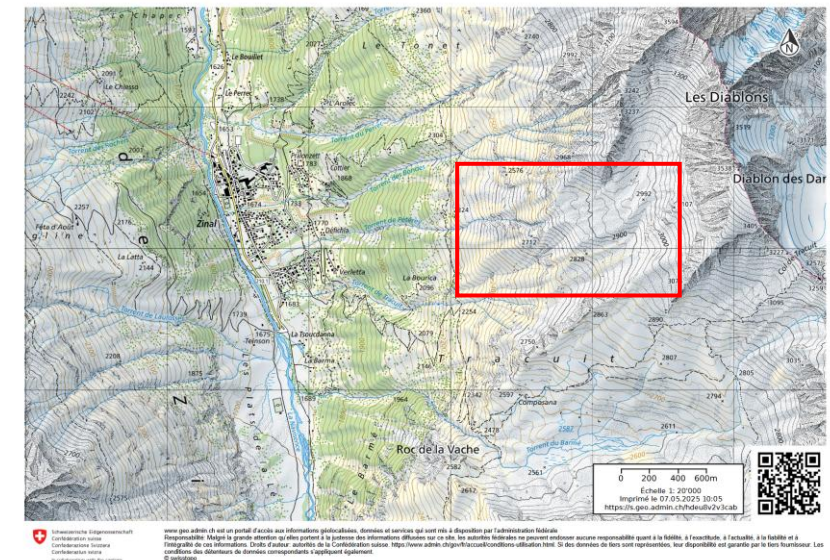
Situation géographique du glacier Bonnard (VS). Source : Swisstopo.



Source: Monitoring Bonnard rock glacier under the effect of climate change – Coralie Vicari

PRÉSENTATION DU SITE

- Le glacier Bonnard est un glacier rocheux.
- Il a une longueur d'environ 1000 m, 150-300 m de large et d'une épaisseur moyenne de 15-20 m.
- Situé entre 2850 m et 3548 m.
- Il repose sur un bastion morainique composé à 60 % de pergélisol.



Situation générale du glacier Bonnard (VS). Source : Swisstopo. 5

PRÉSENTATION DU SITE

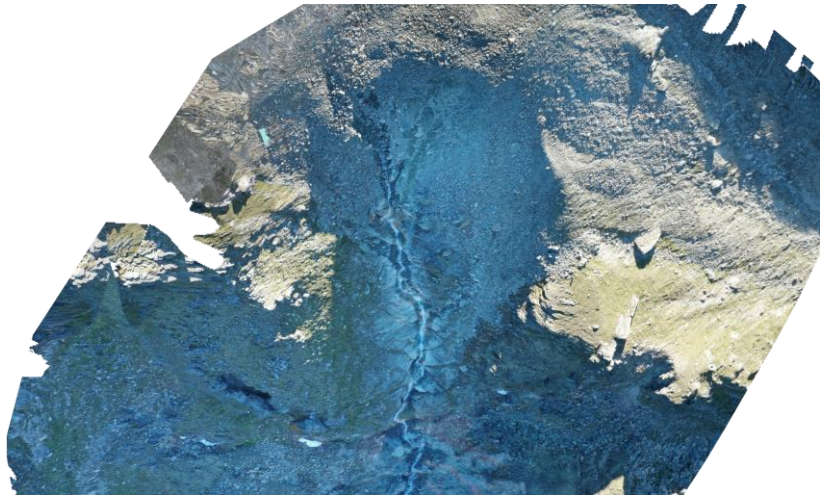
- Glacier couvert ayant évolué vers un glacier rocheux.
- Géologie: il est constitué de débris de gneiss et de schistes cristallins provenant des falaises des Diablons.
- Les affleurements autour sont constitués de gabbros.
- La pente est assez raide, allant de 40 % à plus de 80 %.



Glacier Bonnard. Photo : Eric Bardou.

PRÉSENTATION DU SITE

- Les précipitations abondantes, mais aussi les périodes chaudes liées au réchauffement atmosphérique sont la cause de la forte fonte du glacier et le départ des laves torrentielles

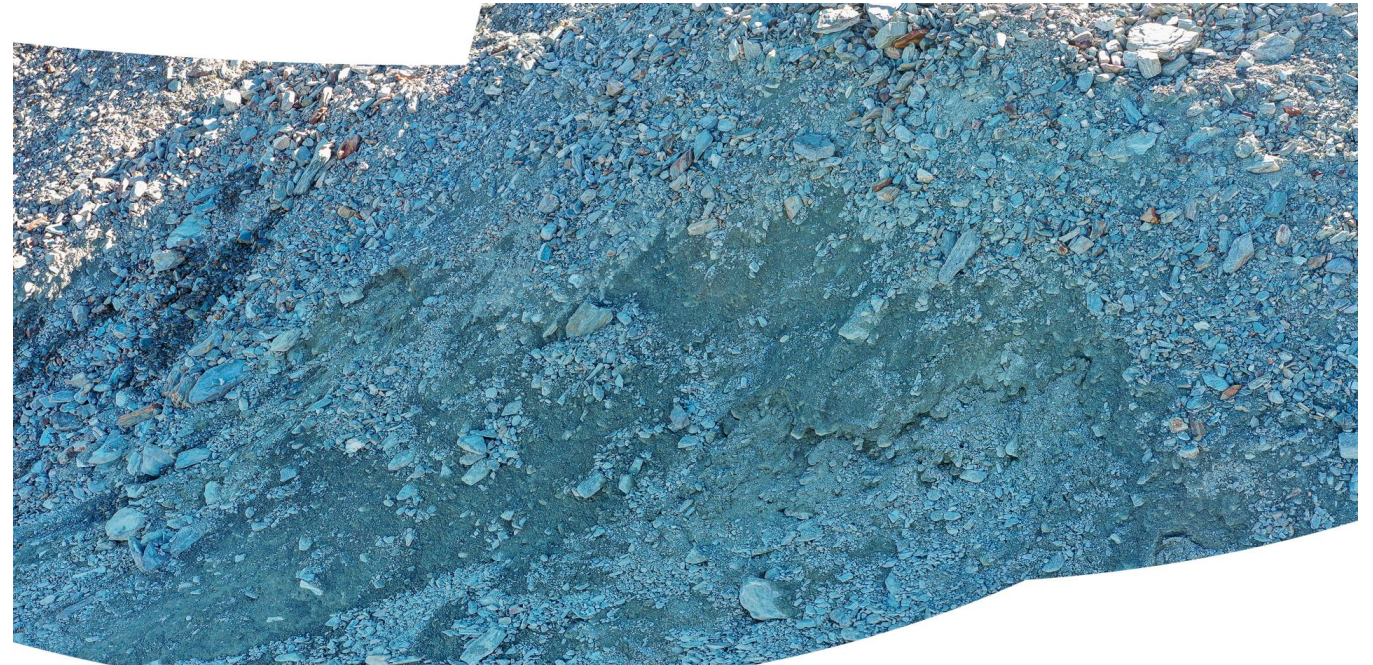


Glacier Bonnard. Photos : Eric Bardou.



PRÉSENTATION DU SITE

- De la glace massive a parfois été aperçues sous la cassure de pente.
- Le pergélisol continue d'affleurer dans la niche du Péterey. La carapace de blocs à disparu et probablement la fonte sera plus rapide ici.
- Dans le torrent de Péterey (zone boueuse en patois), effectivement l'activité sédimentaire est très importante.



Niche d'arrachement du glacier Bonnard (2022). Photo : Eric Bardou.

HISTORIQUE DES ÉVÉNEMENTS

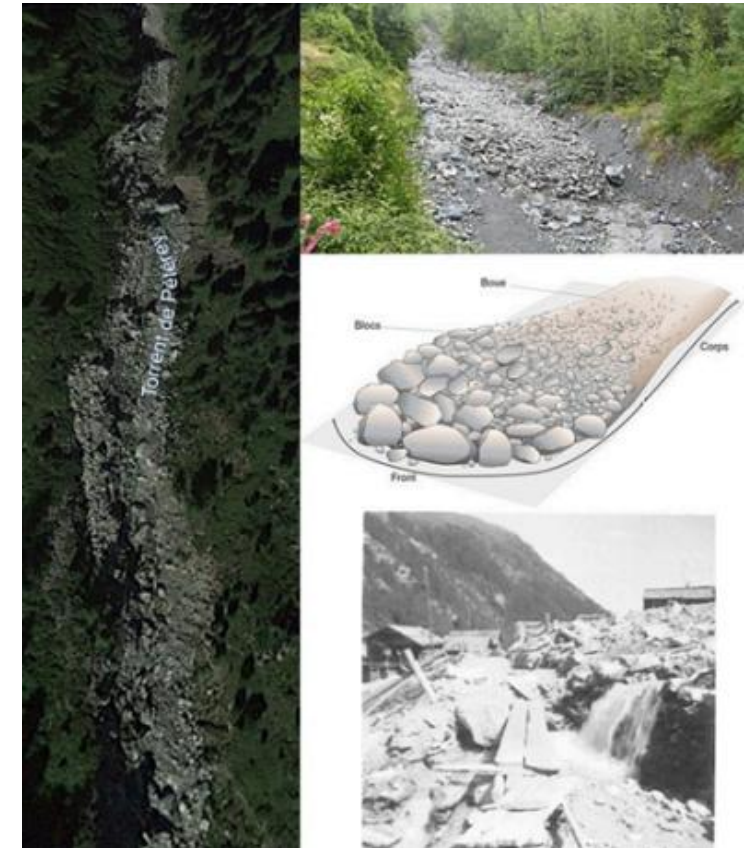
- D'après les observations et les analyses réalisées sur le tracé du torrent Peterey, une vingtaine de laves torrentielles ont été recensées sur le site depuis 1862.
- La moitié des épisodes sont intervenus depuis le début du 21^{ème} siècle.
- En juillet 2006, 8000 mètres cubes de matériaux déboulaient le lit de Peterey.
- En 2013, trois laves torrentielles se sont produites dans l'espace de deux mois.
- Au contraire, dans le torrent de Tracuit, les laves torrentielles sont moins fréquentes et seuls deux événements principaux sont rapportés



Zinal depuis le Belvédère après des épisodes de laves torrentielles (1920-1929). Photo : J-P Genouod.

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

- La surveillance de l'activité des glaciers est fondamentale pour mieux comprendre la relation entre le changement climatique, la fonte du permafrost et les laves torrentielles.
- Ce site présente différents avantages pour l'étude des transfères sédimentaires et le départ de laves torrentielles.
- Ce glacier est sous surveillance depuis nombreuses années, avec des observations bien documentées et des techniques d'auscultation variées.
- Les recherches «in situ» révèlent que le volume total des matériaux pouvant être mobilisés par les coulées de lave est d'environ 40'000 m³ pour le Pétérey et 6'000 m³ pour le Tracuit.



Sources : : Monitoring Bonnard rock glacier under the effect of climate change – Coralie Vicari; Ruisseaux de lave qui ont détruit la route principale pour l'accès à la vallée d'Anniviers, photo de famille, @ Jean-Pierre Genoud.

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

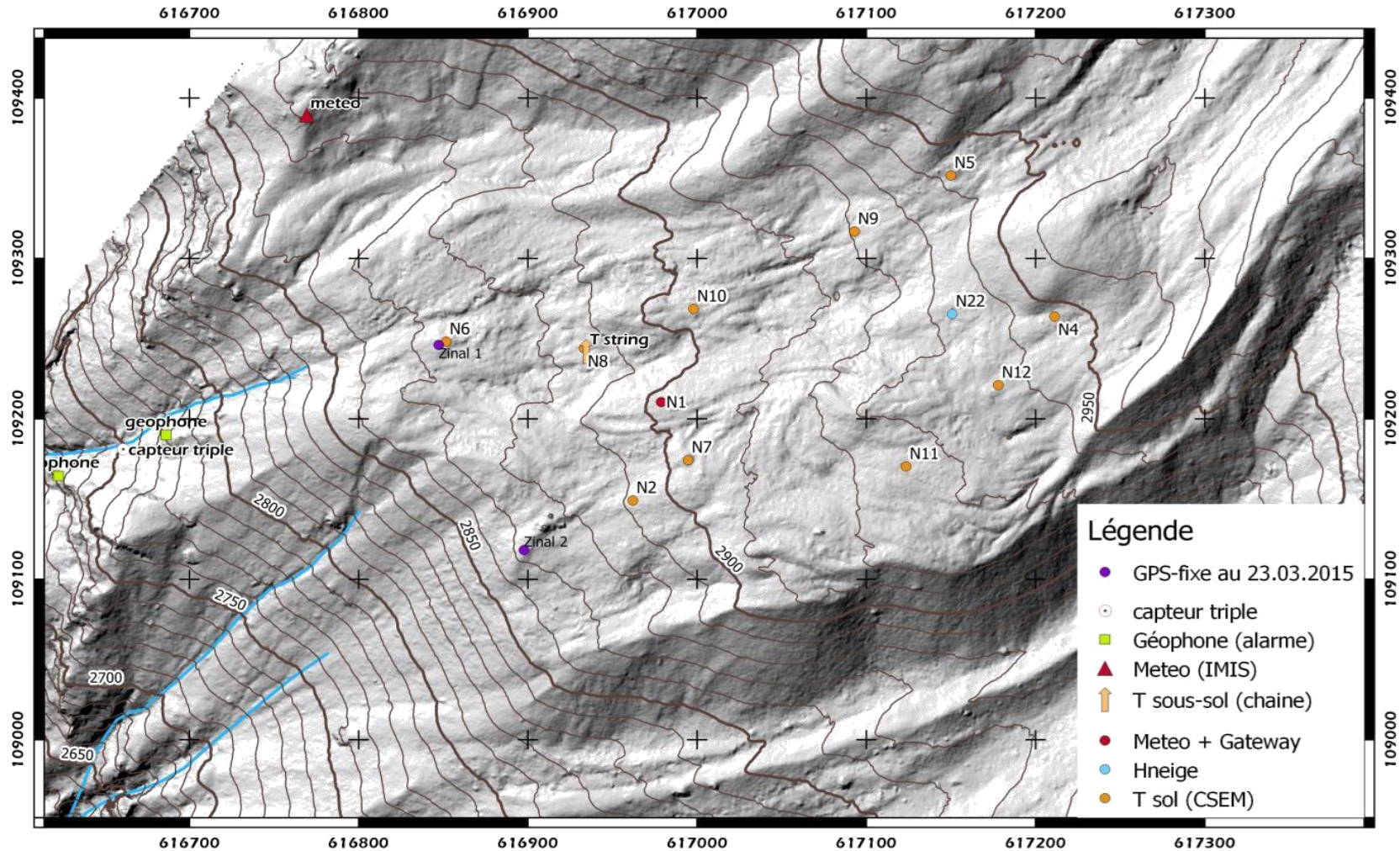
- En superposant les ortho-images de différentes années, il est immédiatement facile de voir le mouvement et la déformation de la surface du glacier.
- Certaines roches situées dans la partie inférieure du complexe périglaciaire à l'origine du torrent du Pétérey et d'autres à l'origine du glacier sont prises comme points de référence afin de quantifier de manière leur déplacement.
- En exemple: les cercles rouges mettent en évidence les changements de position de certains blocs entre 2007 et 2020 . Grâce au logiciel QGIS, des mesures ont été effectuées: le rocher le plus grand et le plus haut(1) s'est déplacé d'environ 12 m, tandis que le plus petit (2) s'est déplacé d'environ 7 m, ce qui signifie un taux d'avancement de 0,5-0,9 m par an.



Displacement during the period 2007-2020 of the rocks 1 and 2
Source: : Monitoring Bonnard rock glacier under the effect of climate change – Coralie Vicari

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

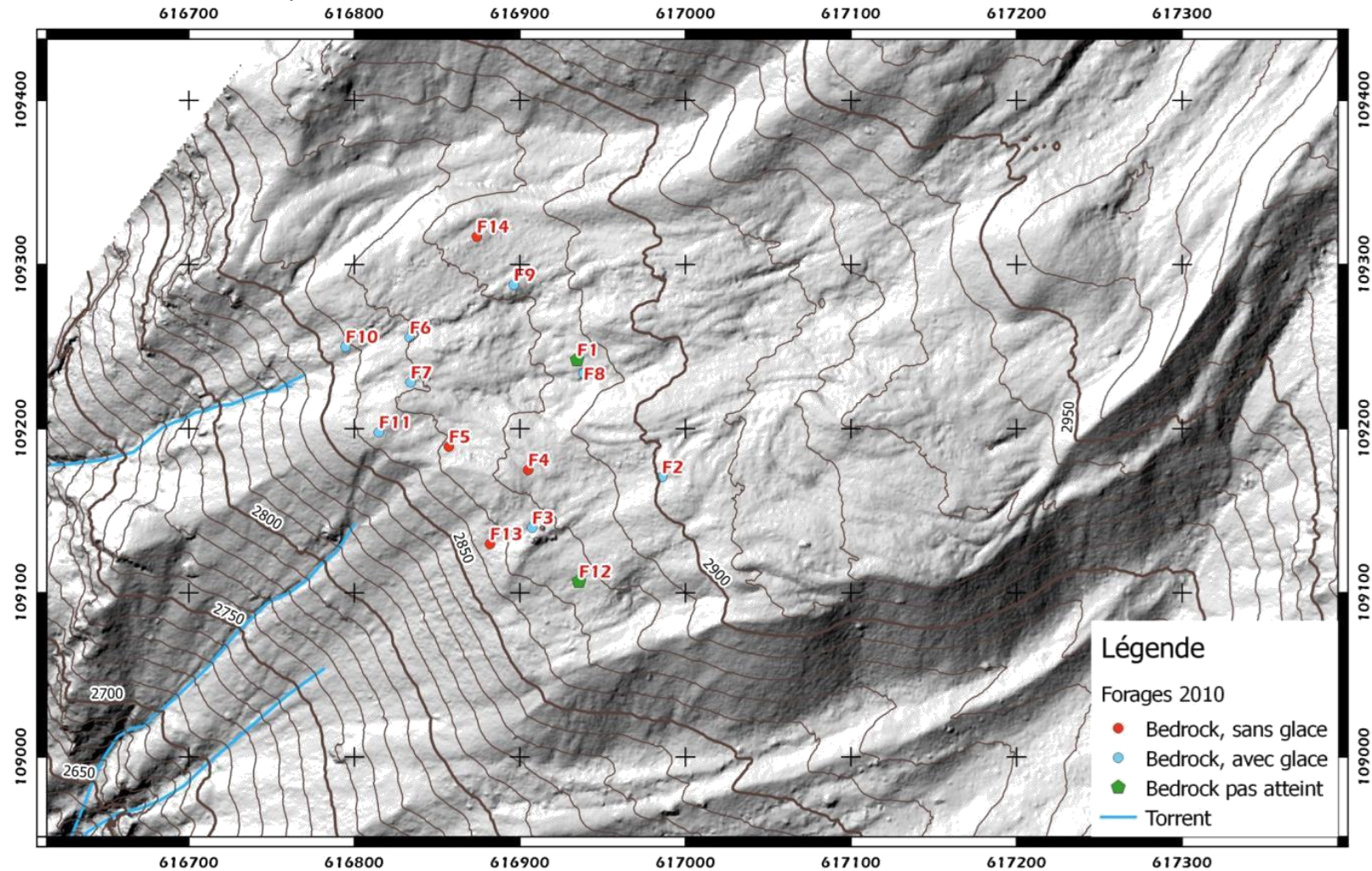
- Réseau en place



Source: Eric Bardou.

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

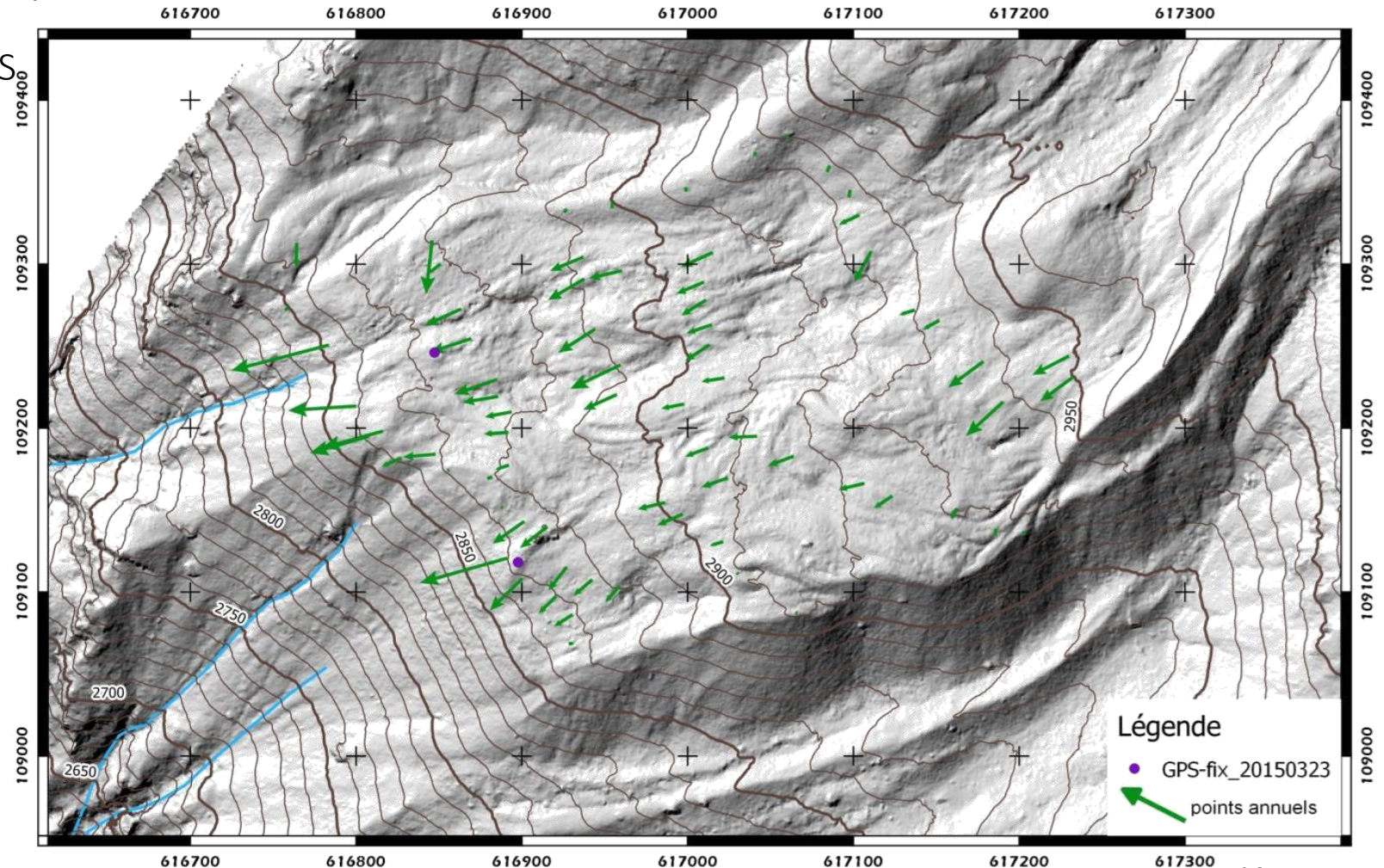
- 14 forages.



Source: Eric Bardou.

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

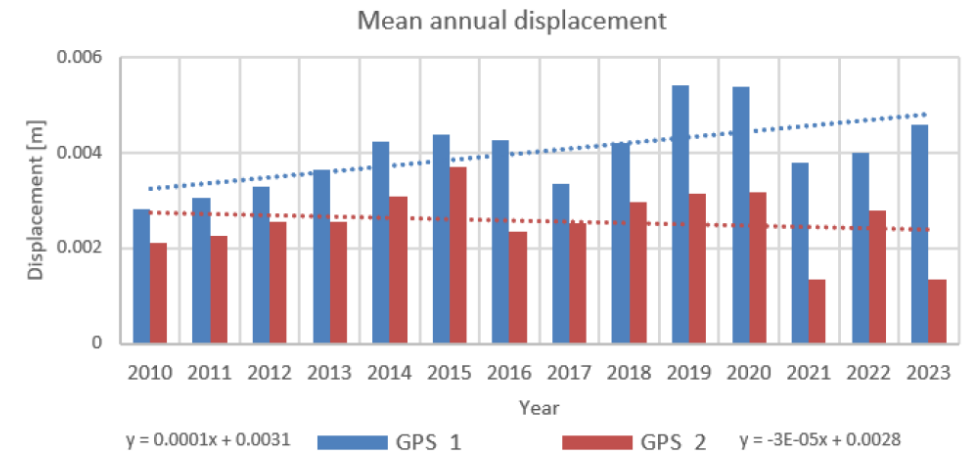
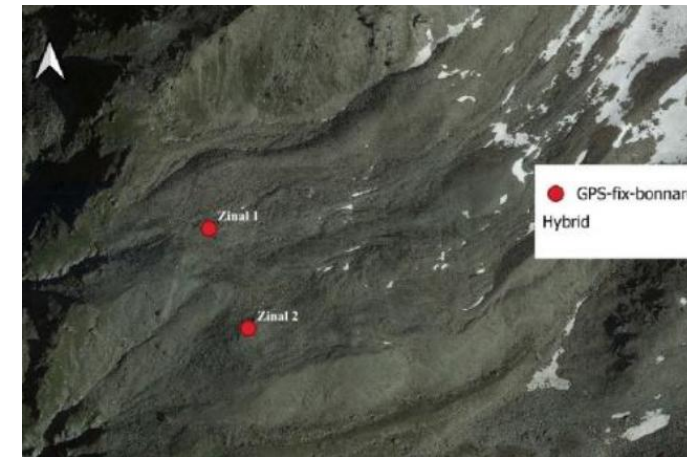
- Mesures de déplacements par GPS



TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

Suivi des mouvements des GPS fixes:

- 2 stations GPS installées dans la partie basse du glacier rocheux à environ 2875 m.
- Période d'observation : 2010-2023.
- Déplacements annuels moyens



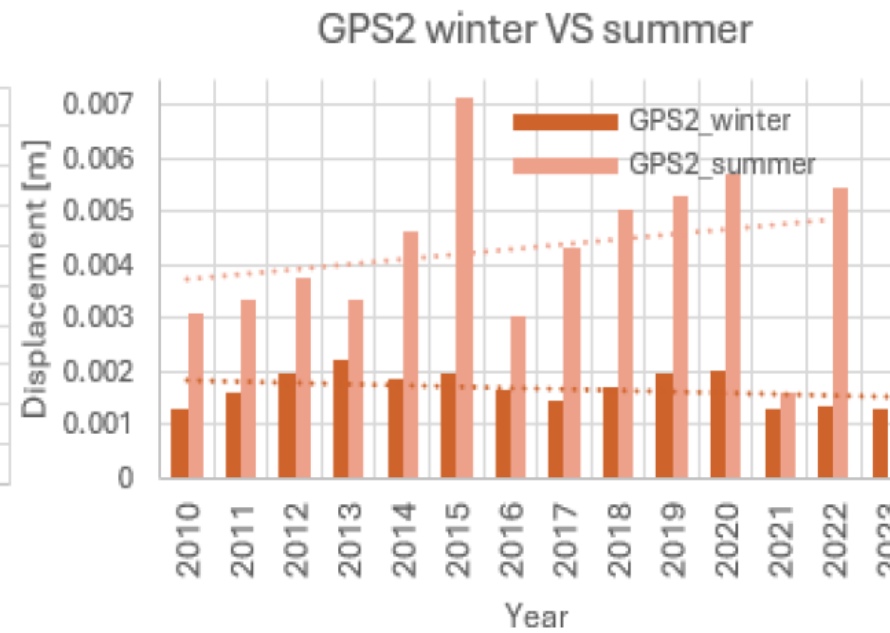
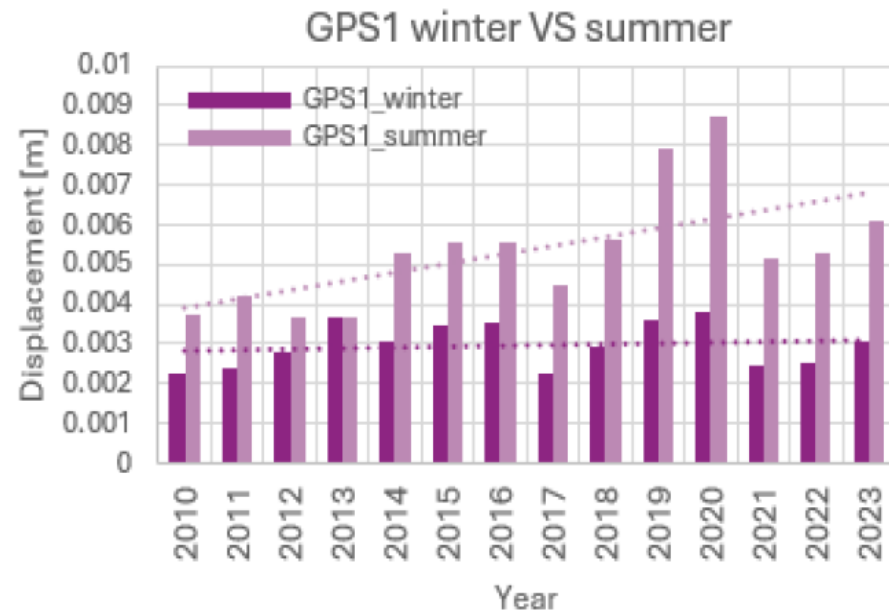
PERMAFROST

ROCKS / BOULDERS / DEBRIS

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

Suivi des mouvements des GPS fixes:

- Accélération notables pendant la saison d'été



Source: Eric Bardou

TÉCHNIQUES D'AUSCULTATION

Suivi de l'évolution des températures:

- 3 stations entre 2007 and 2023: Mottec (1580 m), Evolène-Villa (1825 m) and Tracuit (2859 m).
- Depuis 2014 la T° moyenne est supérieure à 0 °C.
- Les sols ne sont plus gelés durant toute l'année.

MESURES DE PROTECTION

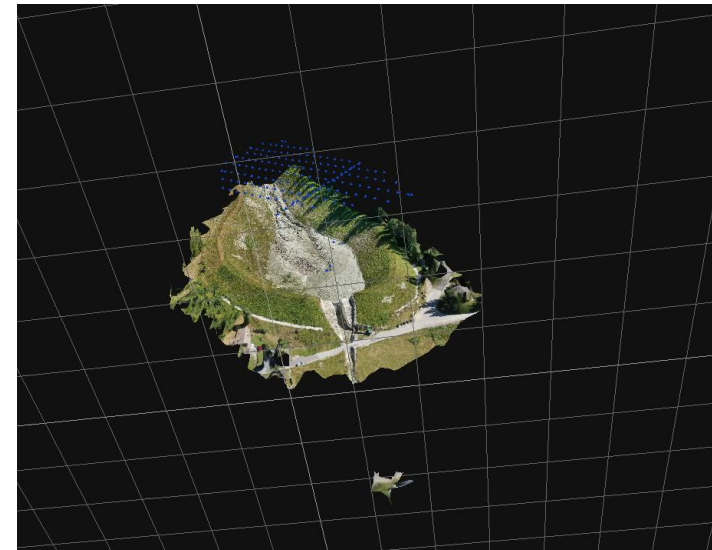
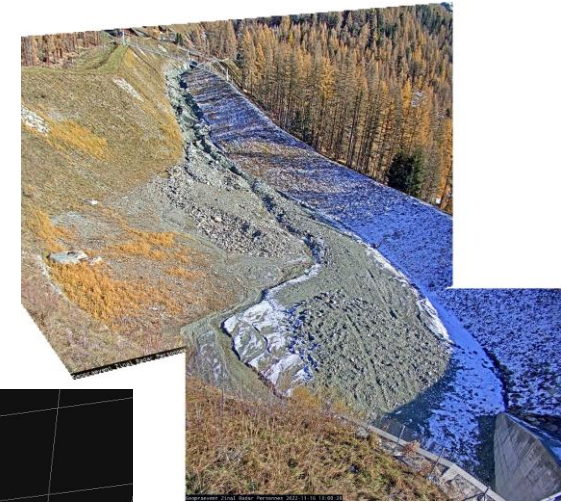
- Face à l'augmentation des événements liés à la fonte des glaciers, les communes des Alpes rehaussent les infrastructures de protection contre les dangers naturels.
- 150 à 200 dépotoirs ont été construits dans le canton du Valais depuis 1950 pour protéger les bâtiments et les installations de remontées mécaniques.
- En Valais, les travaux de protection coûtent près de 75 millions de francs par année aux collectivités publiques. Ces systèmes complexes de murs et de déflecteurs doivent être entretenus et nettoyés, généralement en automne.



Dépotoir du torrent Peterey en phase de construction (Zinal). Source: Olivier Maire, LeTemps.

MESURES DE PROTECTION

- Zinal est bâti en zone de dangers sur plusieurs cônes d'alluvions, avec quatre torrents parallèles qui sectionnent le village.
- Il est un des villages les plus sensibles des 40 sites valaisans surveillés en permanence.
- À Zinal, les deux torrents alimentés par le glaciers rocheux sont donc équipés de dépotoirs sédimentaires. Autre fois conçu pour arrêter les avalanches, ils ont dû être élargies pour accueillir les laves torrentielles.



Sur le système GEOPRAEVENT, 2 images fixes supplémentaires sont archivées (période horaires). Elles permettent de suivre le remplissage du dépotoir.

MESURES DE PROTECTION

- Entre 2009 et 2015, la commune a investi environ 2 millions de francs pour ces ouvrages de protection.
- Chaque année, la commune d'Anniviers doit également évacuer les déchets accumulés dans les dépotoirs (environ 3'500 mètres cubes par an pour celui du Peterey).
- Sauf l'été 2024....



Photo Eric Bardou - 2024

CONCLUSIONS

- Le glacier Bonnard est un très bon exemple de comment le changement climatique transforme les régions de montagnes et notamment l'évolution des versants.
- Important concentrer toutes les mesures au même temps mais aussi de les implémenter une à une pour mieux construire le système de mesure (pas seulement celles de surface)
- Monitoring difficile à maintenir en ces conditions, donc il faut investir du temps et de l'argent périodiquement.
- Montrer dynamique et nécessaire pour la mitigation du risque pour les communautés (surtout dans la dynamique lente comme Tracuit on a peu d'événements – attention intensité)

RÉFÉRENCES

- Bardou, E.; Favre-Bulle, G.; Faucheux, C.; Jeannée, N. and Ornstein, P. (2015). Process oriented use of geostatistics to analyse creeping para-glacial features. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 1191-1201.
- Bertoldi, G. ; D'Agostino, V. and McArdell, B. W. (2012). An integrated method for debris flow hazard mapping using 2D runout models. Conference Proceedings – 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble, France.
- Jeannée, N.; Bardou, E.; Faucheux, C. and Ornstein, P. (2013). Geostatistical Assessment of Ice Content Distribution Within Glacier Bonnard. *International Association for Mathematical Geosciences*, 45, 591-599.
- Master's Degree Thesis Monitoring Bonnard rock glacier under the effect of climate change, Coralie vicari 2024