



Détection et imagerie des poches d'eau

14 novembre 2025

Eric LAROSE, Stéphane GARAMBOIS, Agnès HELMSTETTER, Jakub KOKOWSKI, Noëlie BONTEMPS,

Antoine GUILLEMOT, Benjamin Sève, Etienne Rey et al. (Géolithe)

Les techniques historiques d'imagerie

- 1980 : sismologie, gravimétrie (résolution $\sim 10\text{-}100\text{m}$)
- > 1990 : radar géologique (résolution $< 10\text{m}$)
- > 2007 : Résonance Magnétique des Protons (RMP)
- 2010s EM aéroportée, MT data : regions polaires
- > 2020 : radar sous drone, sismique très haute fréquence, sismique de bruit de fond, ...

Le géo-radar (GPR)

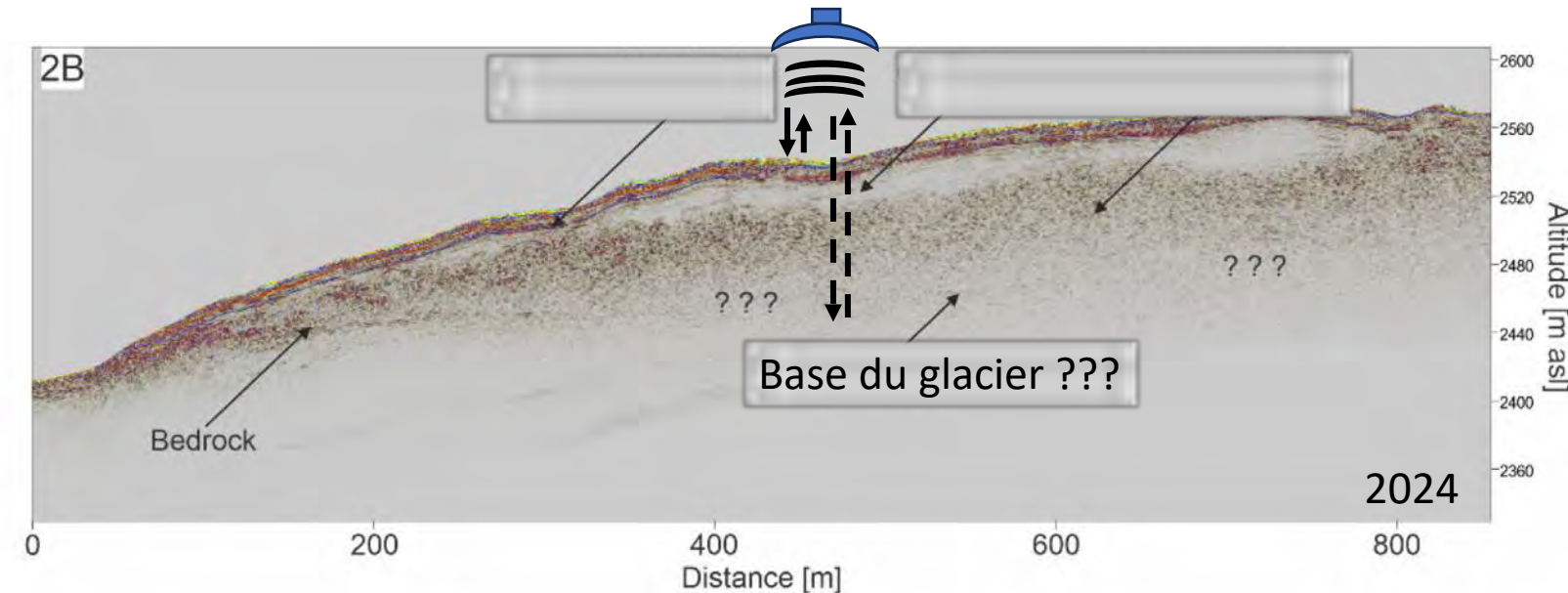
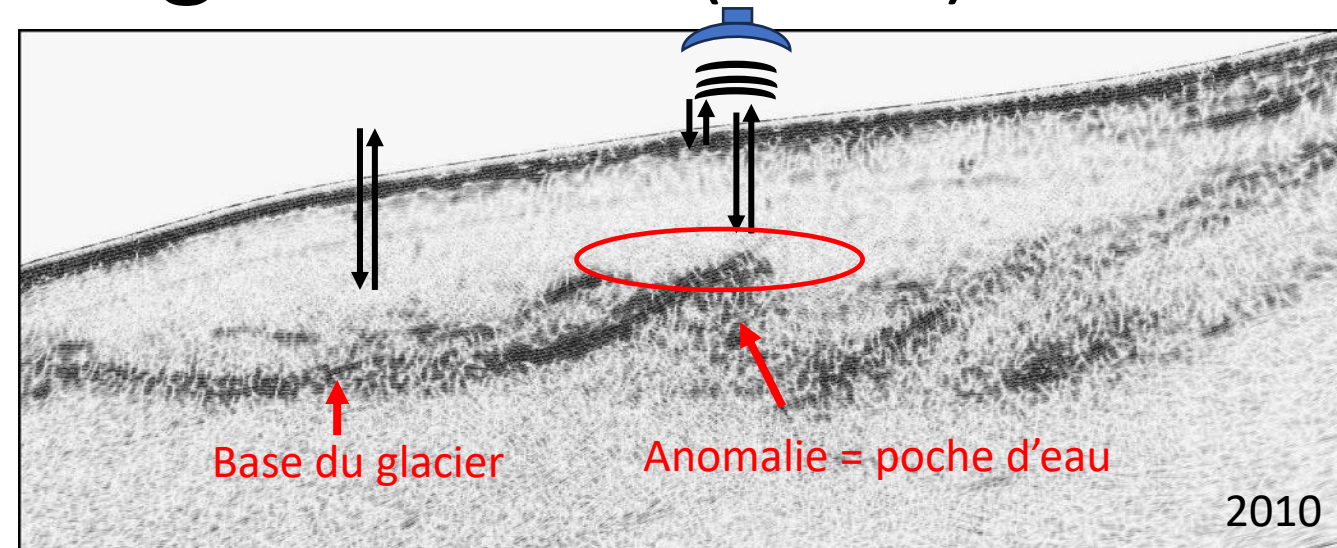
Tête Rousse – Saint Gervais Mont-Blanc



Bonne Pierre – La Bérarde



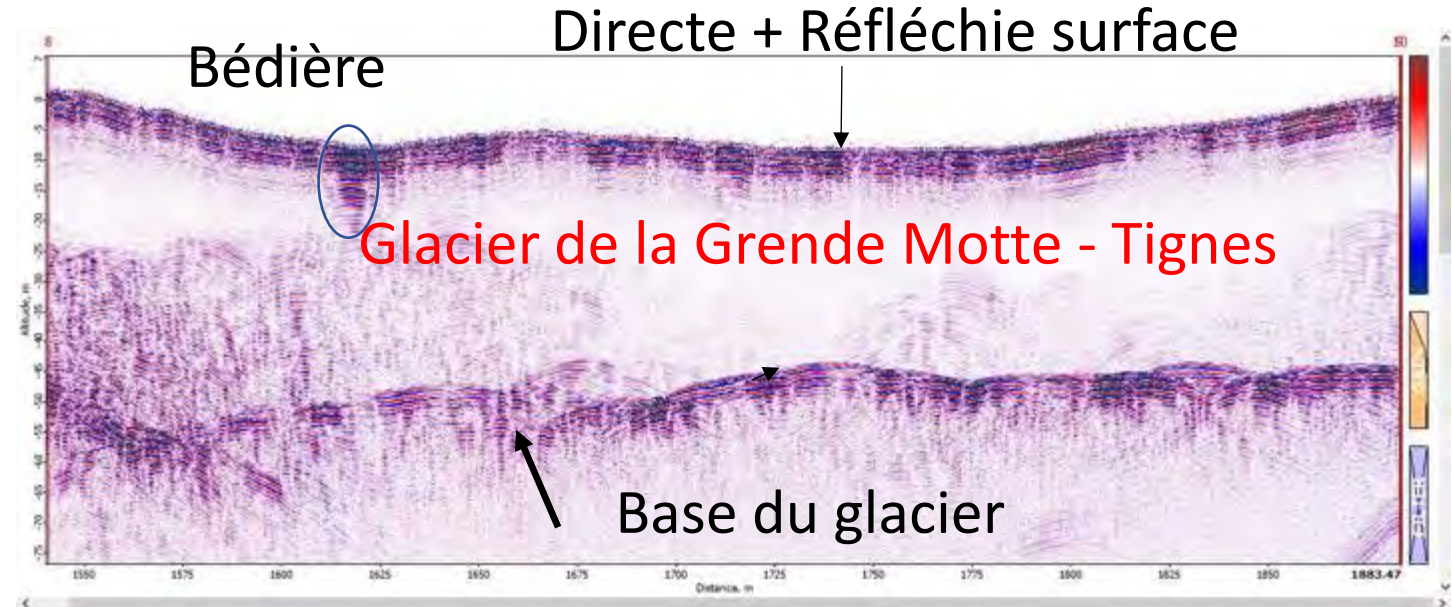
Résolution ~1-10m ++
Déploiement +/-



Limites et défis (--) : Diffusion des ondes par les blocs rocheux dispersés, atténuation à cause du mélange glace/eau diffuse, bedrock morainique peu marqué

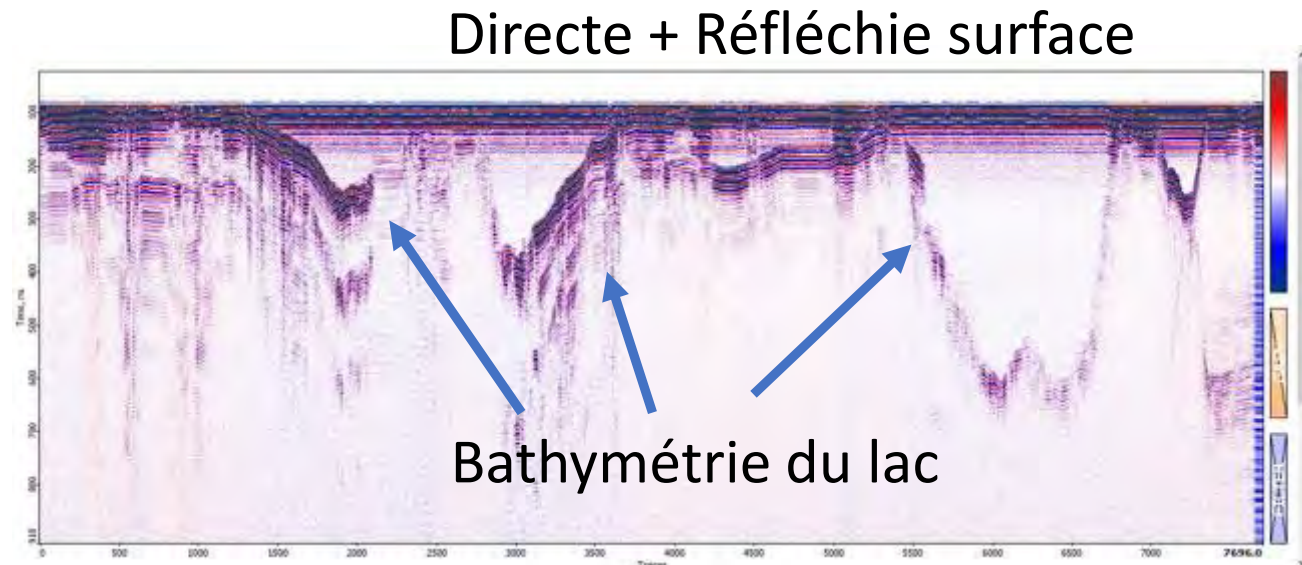
Opportunités Nouvelles : (GPR) sous drone

- Réduire l'utilisation hélico
- Accéder aux zones raides/crevasses
- rapidité de déploiement
- grande surface couverte (3D)
- répétition des trajectoires



images radar 75 MHz

Lac :

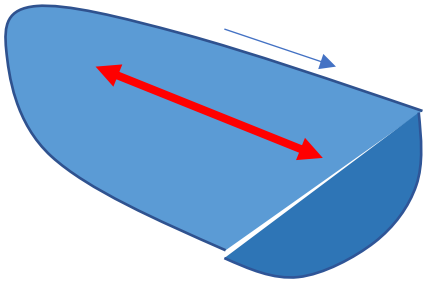


Innovation ISTerre/IGE/Syntef (norvège)

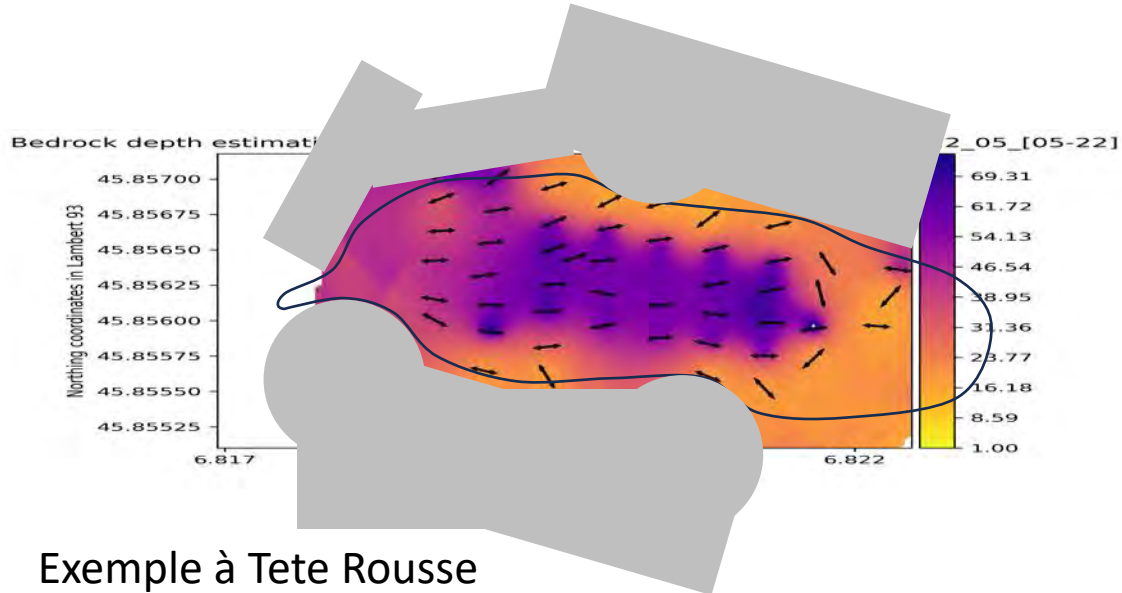
Sismologie de bruit de fond

Mode 1 (H/V) :
Polarisation Horizontale, E-W (120°), 8-9Hz

MODE « GLACIER »



-> Cartographie de l'épaisseur du glacier

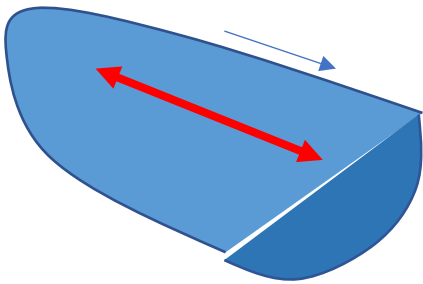


Exemple à Tete Rousse

Sismologie de bruit de fond

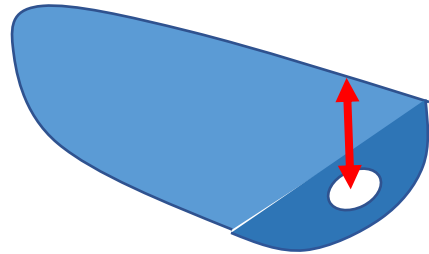
Mode 1 (H/V) :
Polarisation Horizontale, E-W (120°), 8-9Hz

MODE « GLACIER »

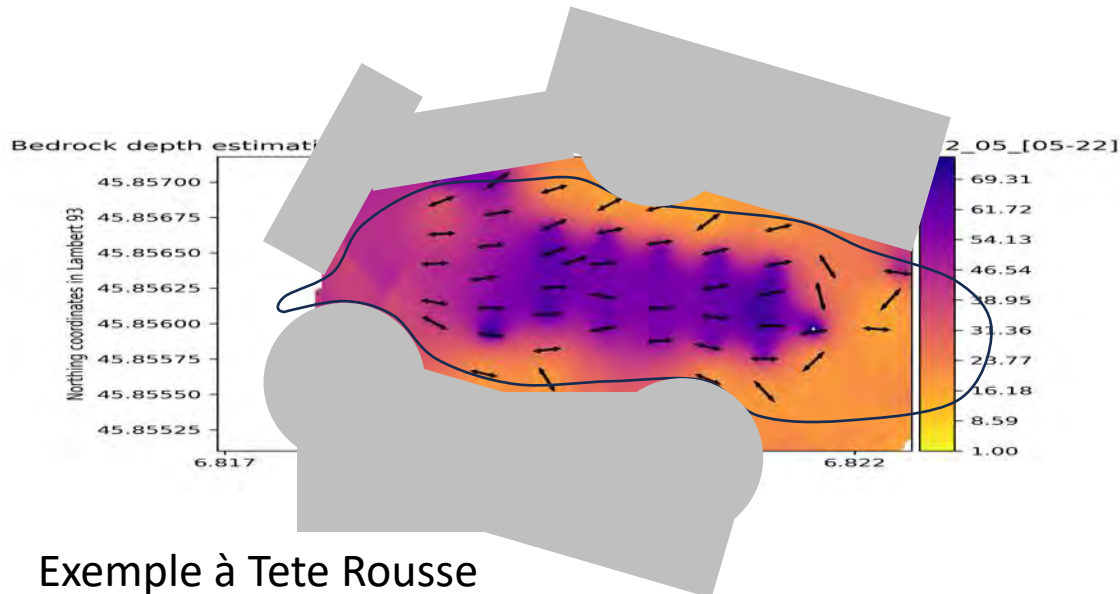


Mode 2 (V/H) :
Polarisation verticale, 15Hz

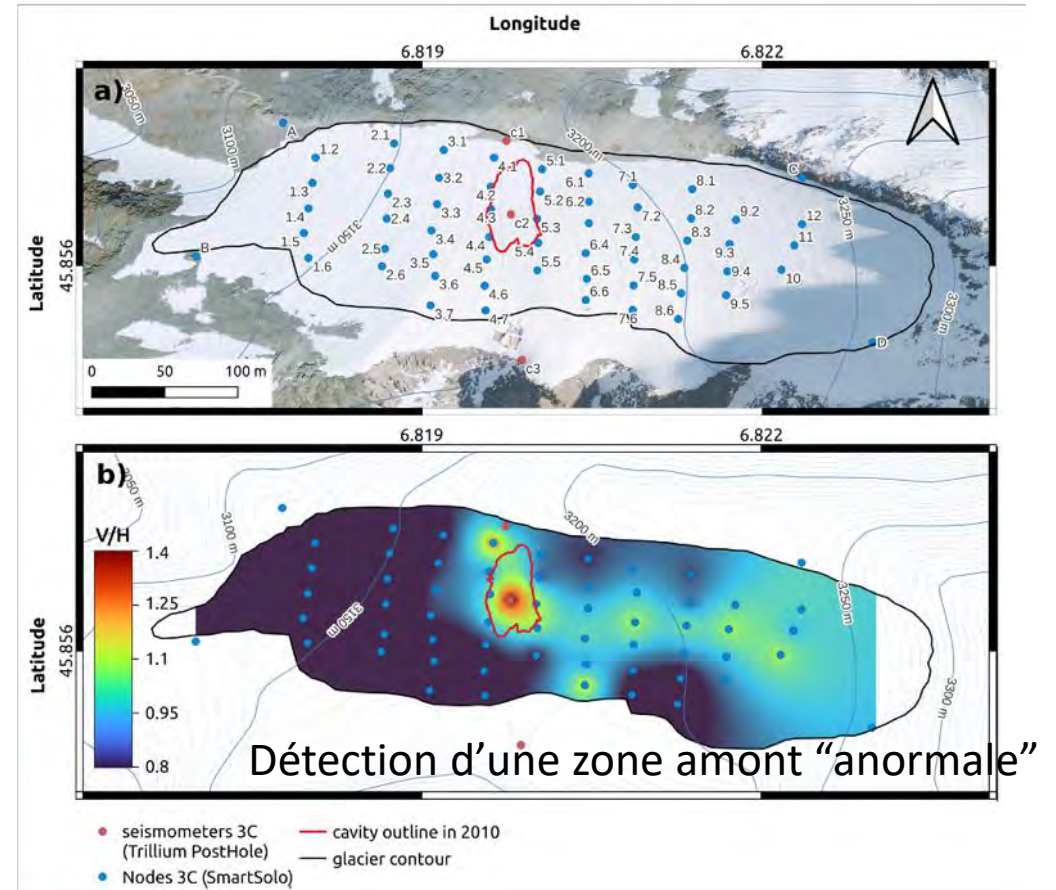
MODE « CAVITE »



-> Cartographie de l'épaisseur du glacier



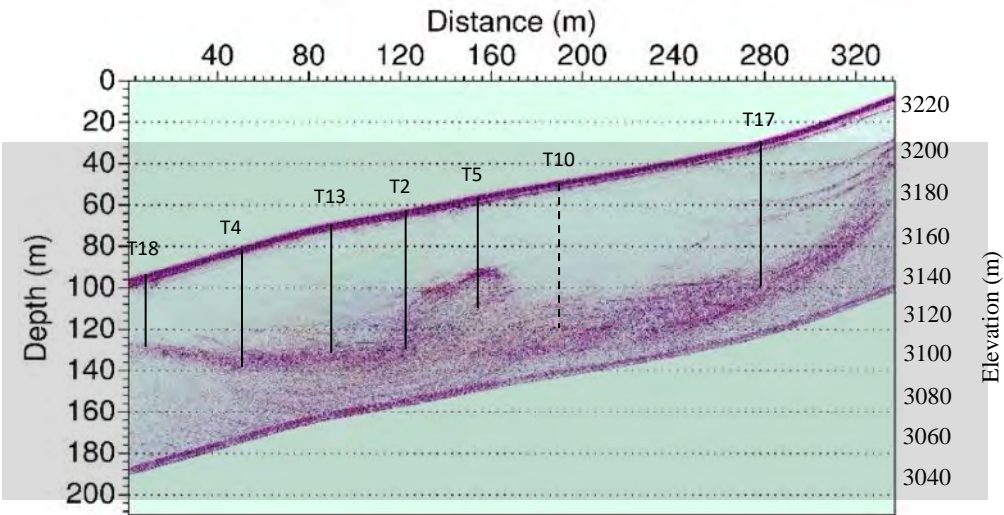
Exemple à Tete Rousse



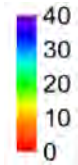
- Résolution ~100m --
- Mise en oeuvre -
- Sensibilité : différenciation du contact sous le glacier ++

Résonnance Magnétique de Proton : exemple de Tête Rousse

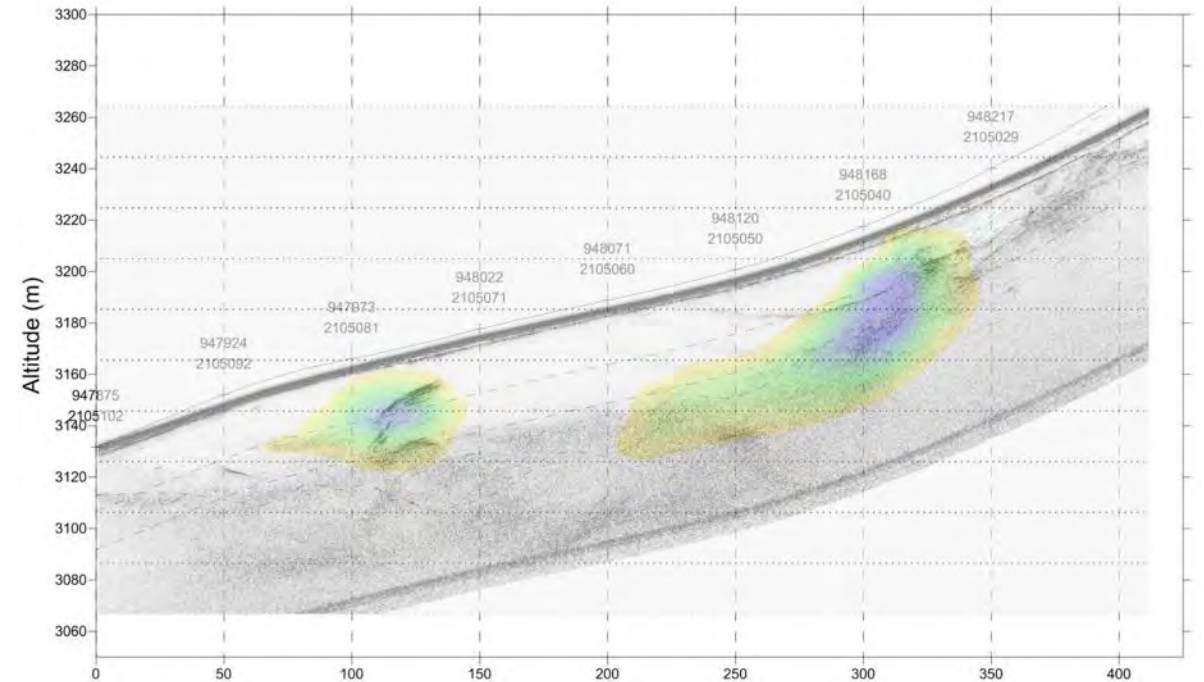
2010



Water content (%)



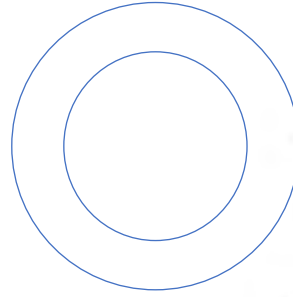
2015



- Résolution ~100m --
- Sensibilité : différenciation eau liquide/glace ++

Micro-sismicité et detection des écoulements

All “non-earthquakes” SISmalp 2015-2024

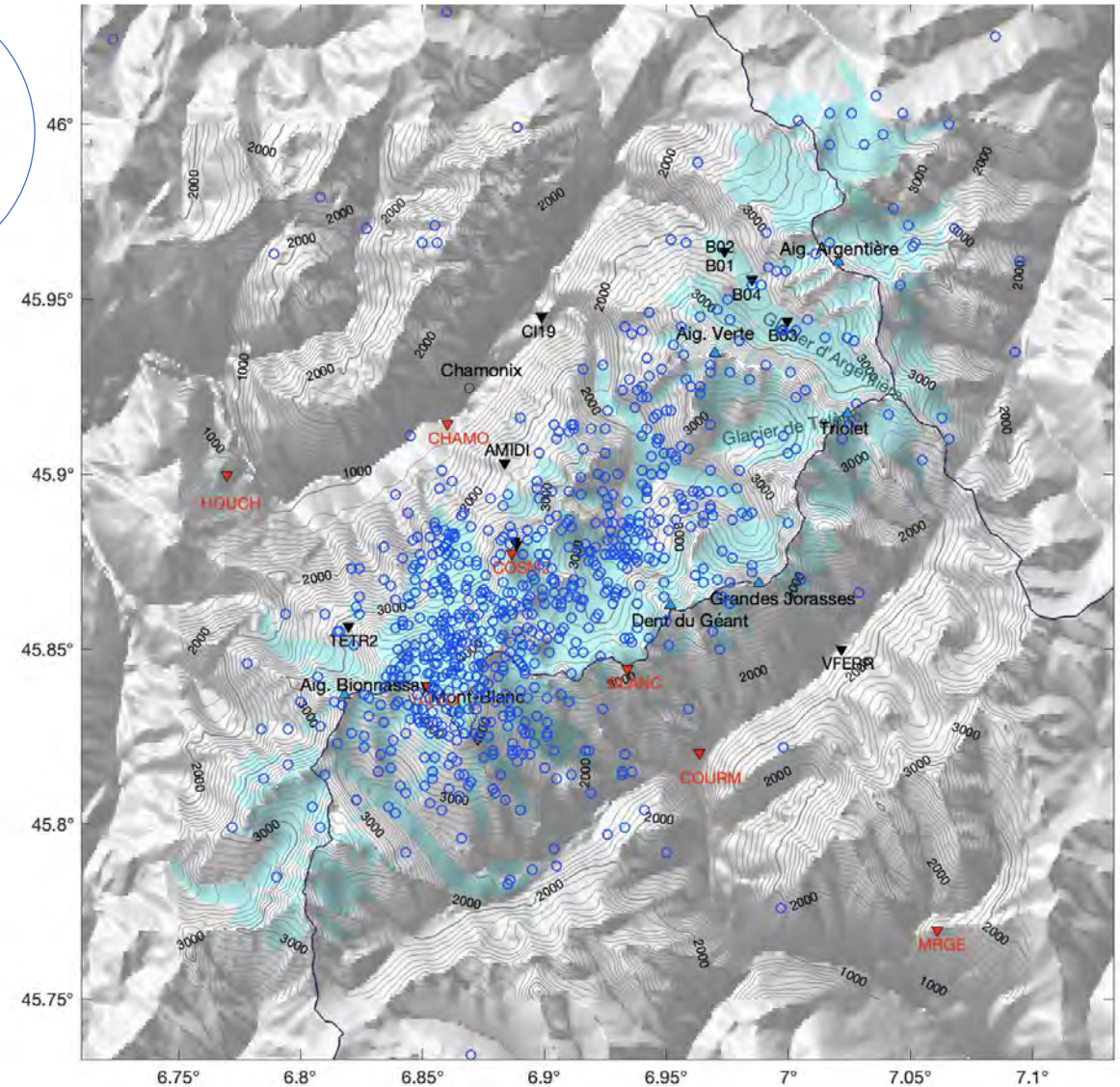


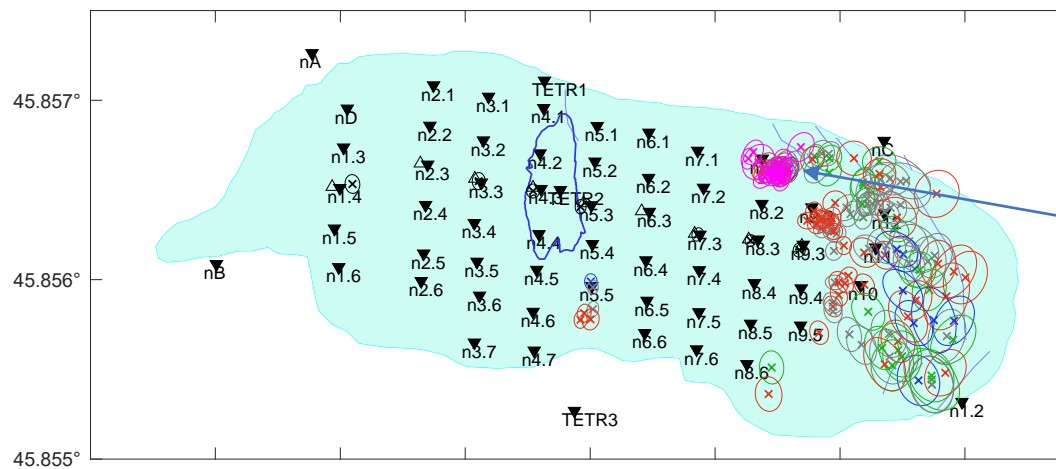
2015-2024

N=725

Loc. error <5 km

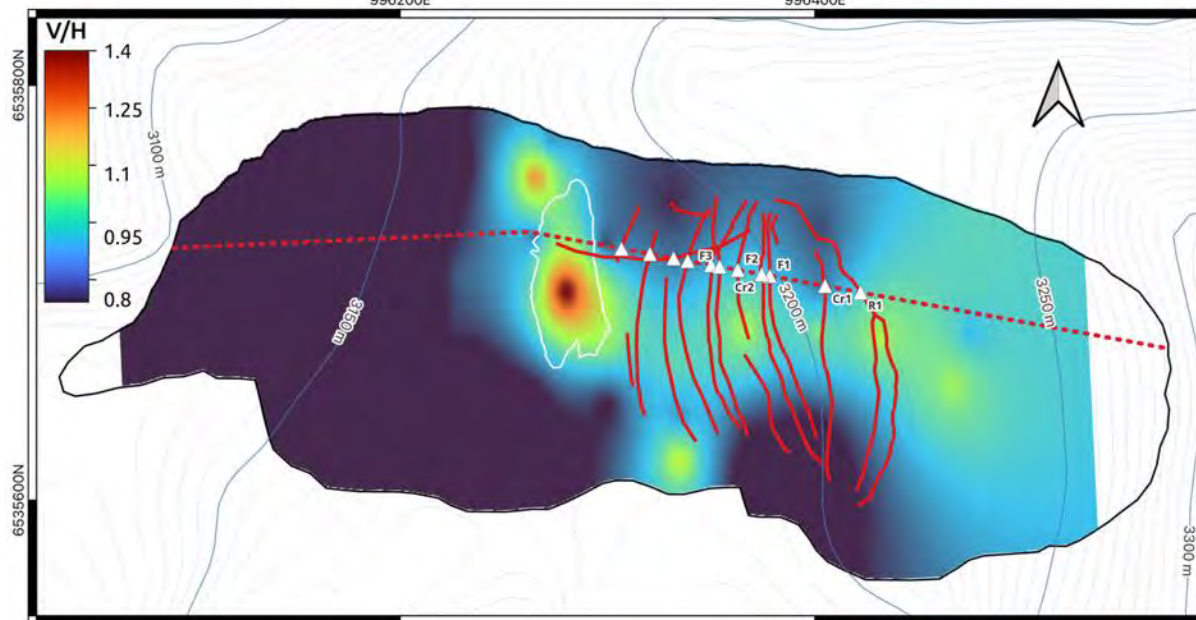
$M_l > -1$





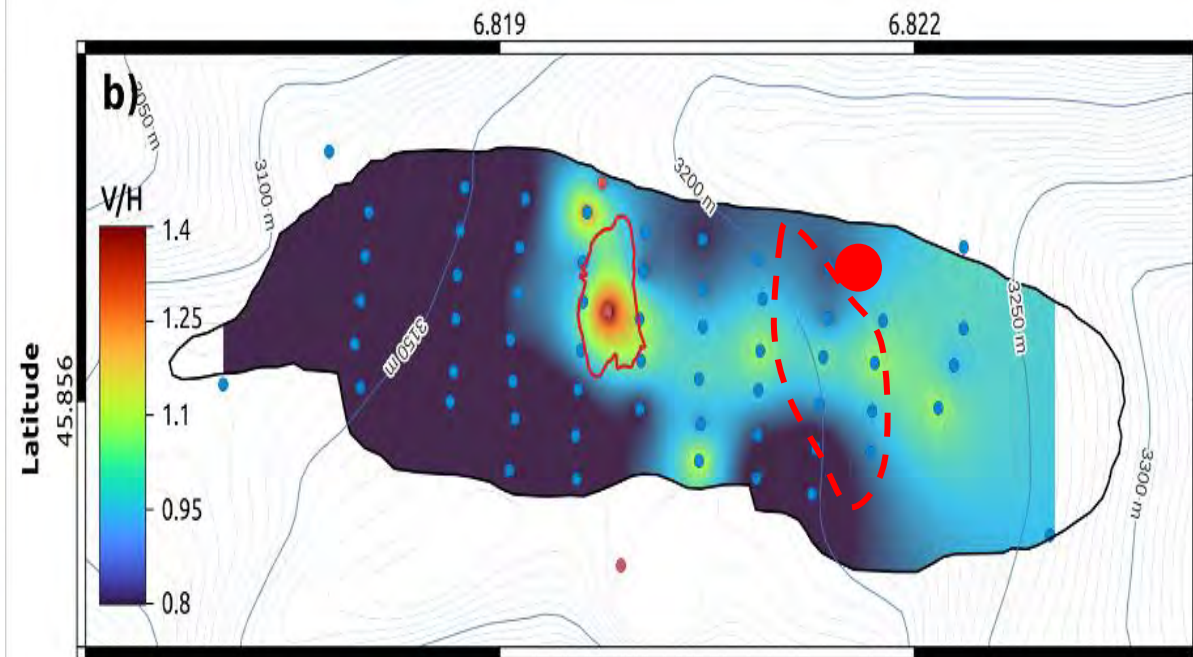
- Repetaers : glissement basal en amont
- Tremor : circulation de fluides > 1 ou 2 points d'injection dans le glacier (?)

2022

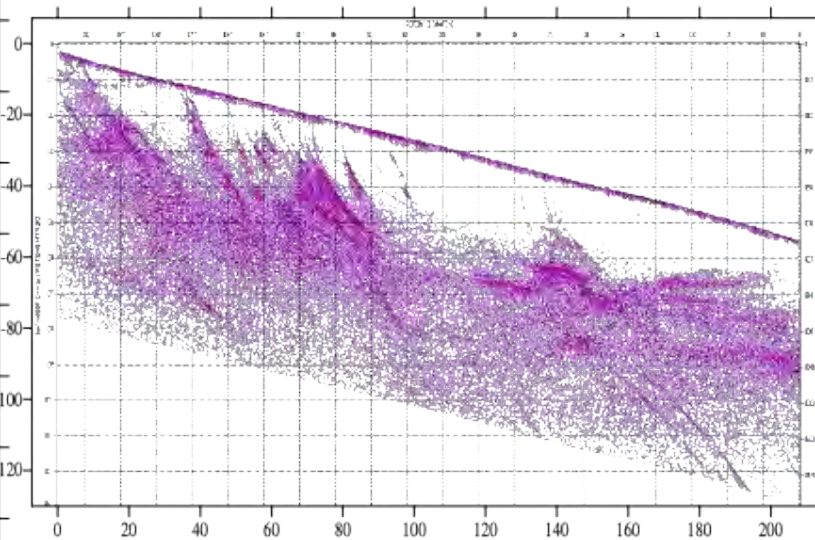
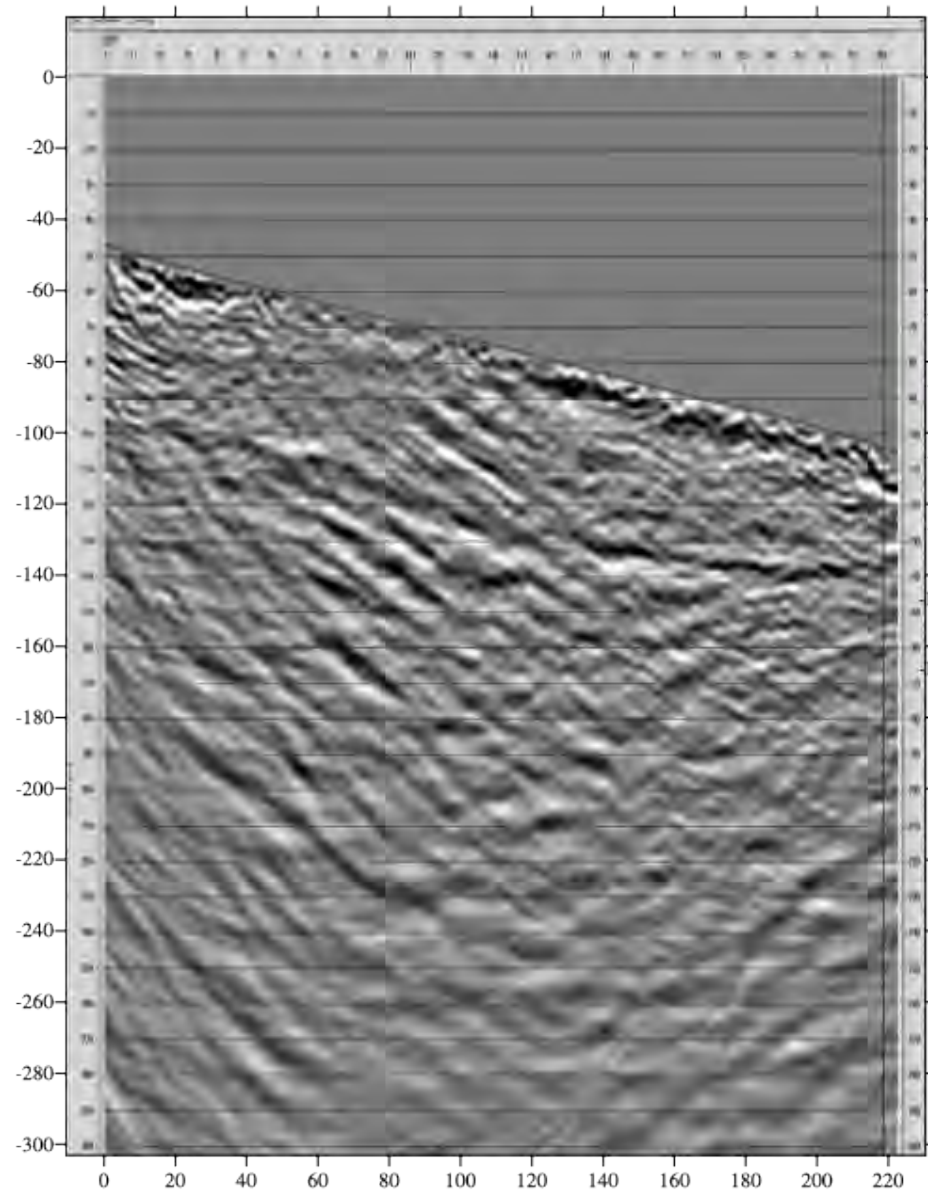


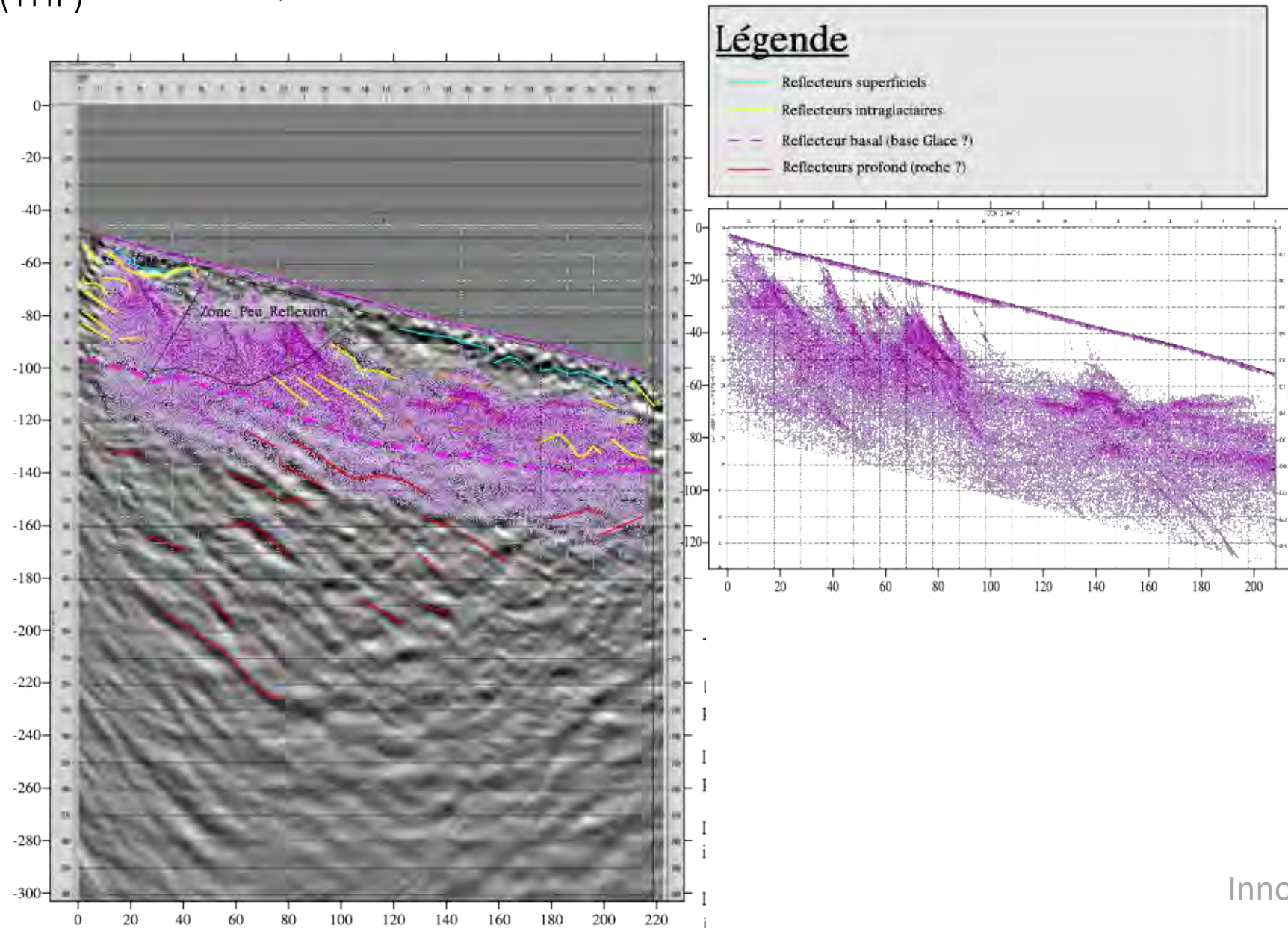
- pin pointed crevasses at the end of august 2025
- - - elevation profile (see profile figure)
- △ crossing between crevasses and profile line (see profile figure)
- cavity position in 2010

2025

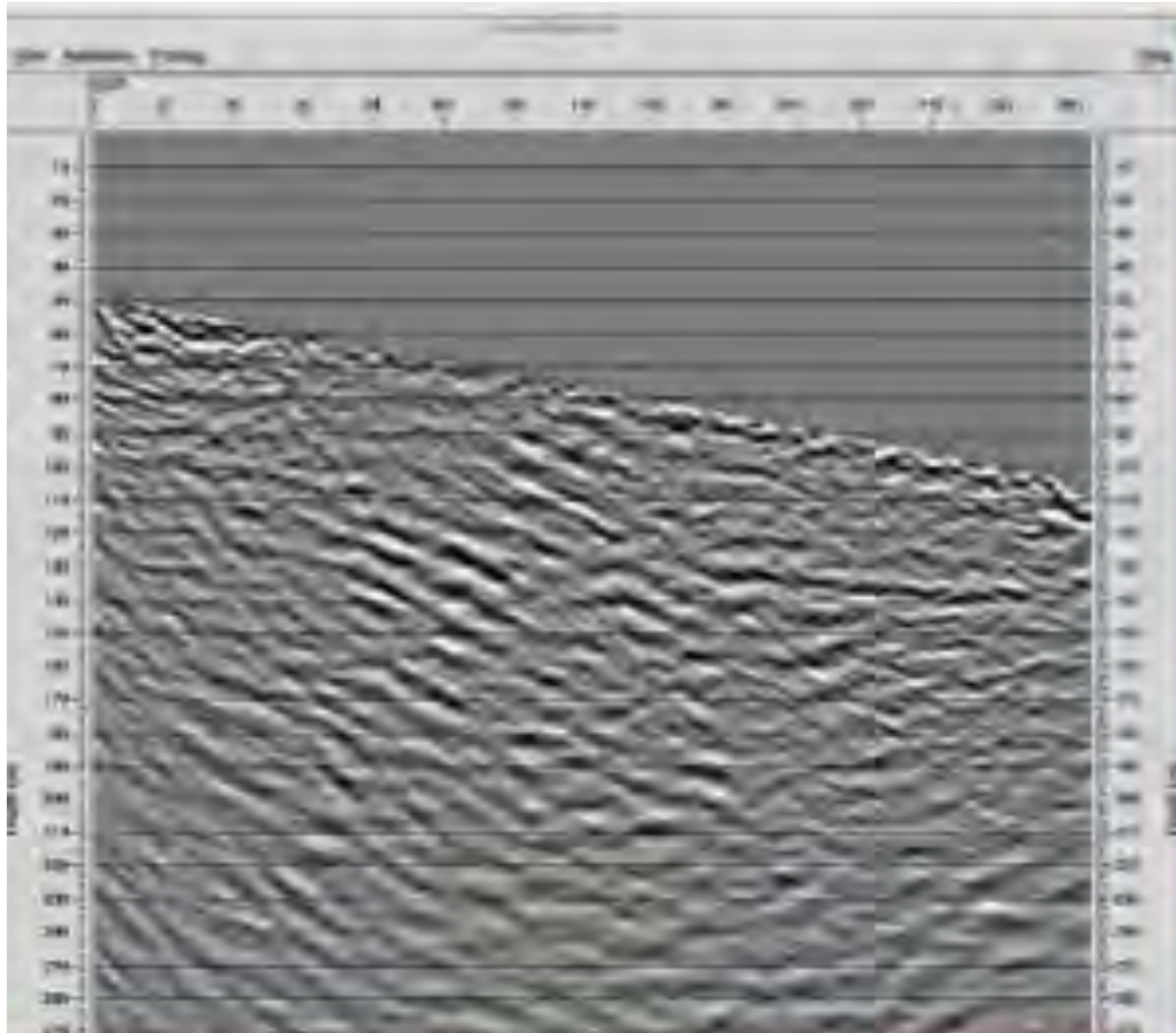


- seismometers 3C (Trillium PostHole)
- Nodes 3C (SmartSolo)
- cavity outline in 2010
- glacier contour

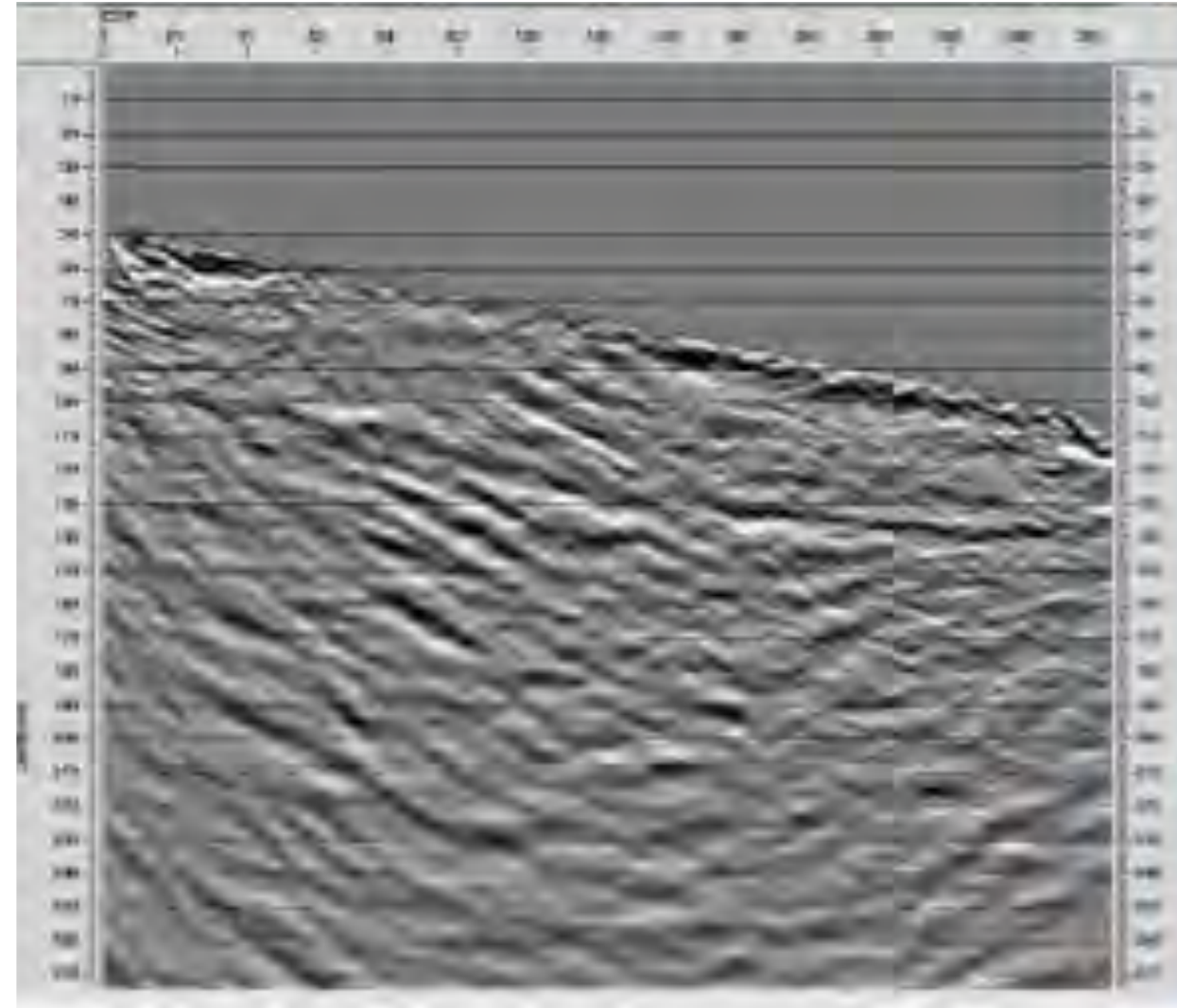




Apport des très hautes fréquences (THF)



25-150 Hz



25-650 Hz

conclusions

- Des techniques bien établies (sismiques, radar...) parfois pas totalement suffisantes
- Des techniques complémentaires
- Un regard expert parfois nécessaire pour interpréter
- Des évolutions et améliorations en cours,
- Des opportunités Nouvelles
- Importance de lier les problématiques effectives aux actions R&D (feedback recherche/terrain)